



Трубка Юбилейная

Айхал

**«Присвоить наименование
“Академик Владимир Иванович Смирнов”
факту извлечения алмаза, добытого
из трубки “Юбилейная” 26.12.16
на обогатительной фабрике №14
Айхальского ГОКа весом 51,78 карат...»**

из приказа АК «Алроса»



СМИРНОВСКИЙ СБОРНИК – 2017

ФОНД ИМЕНИ АКАДЕМИКА В. И. СМИРНОВА



АК Алроса

СМИРНОВСКИЙ СБОРНИК – 2017



Алмаз «Академик Владимир Иванович Смирнов»



Москва 2017

Факту извлечения алмаза присвоено имя «Академик Владимир Иванович Смирнов»

Алмаз весом 51, 78 ст добыт 26 декабря 2016 года
на фабрике № 14 Айхальского ГОКа (тр. Юбилейная)



The Smirnow Foundation Board expresses sincere thanks
to the following organizations who provided the support in our activities,
including the publication of the Smirnow Collection-2017

Ministry of Natural Resources of the Russian Federation
All- Russia Institute of Scientific and Technical Information
Central Institute of Geological Exploration for Base and Precious Metals
All-Russia Institute of Mineral Resources
Institute of Experimental Mineralogy
Voronezh State University
Russia State Geological-Prospecting University
OJSC ALROSA

Правление Фонда им. академика В. И. Смирнова выражает благодарность
следующим организациям и отдельным лицам, оказавшим поддержку Фонду,
в том числе и в издании Смирновского сборника-2017

Министерство природных ресурсов РФ
Центральный научно-исследовательской геолого-разведочный институт (ЦНИГРИ)
Всероссийский институт Минерального сырья (ВИМС)
Институт экспериментальной минералогии (ИЭМ)
Иркутский государственный технический университет
Воронежский государственный технический университет
Российский государственный геолого-разведочный университет (РГГРУ)
Институт минералогии и геохимии редких элементов (ИМГРЭ)
АК «АЛРОСА»

FOUNDATION AFTER THE NAME OF ACADEMICIAN V. I. SMIRNOW

RUSSIAN ACADEMY OF NATURAL SCIENCES

SMIRNOW COLLECTION-2017

(Scientific-Literary Anthology)

**PROBLEMS OF THE MINERAGENCY,
ECONOMIC GEOLOGY
AND MINERAL RESOURCES**

**Presentation of ALROSA Company,
genesis of kimberlite deposits and
mineral resources economics**

**Geological structure and diamond
content of kimberlite fields of Yakut
and Arkhangelsk mineragenic
provinces**

Popular-Scientific and Literary Works

*Printed in accordance with the resolution of the
Council of Founders
dated April 22 2017*



ФОНД АКАДЕМИКА В.И. СМИРНОВА
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

СМИРНОВСКИЙ СБОРНИК – 2017
(Научно-литературный альманах)

**ПРОБЛЕМЫ МИНЕРАГЕНИИ,
ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ГЕОЛОГИИ
И МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ**

**Часть I. Презентация компании
«АЛРОСА», генезис кимберлитовых
месторождений и экономика минеральных
ресурсов**

**Часть II. Геологическое строение, структура
и алмазоносность кимберлитовых полей
якутской и архангельской минерагенических
провинций**

**Часть III. Воспоминания, научно-популярные и
литературные произведения**

*Печатается по решению
Совета учредителей Фонда
от 22 апреля 2017 г.*



УДК 55
ББК 26.3
П78

Главный редактор:
В.И. Старостин

Редакционная коллегия:
А.Л. Дергачев, П.А. Игнатов, Г.В. Ручкин

П78 **Проблемы минерагении, экономической геологии и минеральных ресурсов: Часть I. Презентация компании «АЛРОСА», генезис кимберлитовых месторождений и экономика минеральных ресурсов. Часть II. Геологическое строение, структура и алмазоносность кимберлитовых полей якутской и архангельской минерагенических провинций. Часть III. Воспоминания, научно-популярные и литературные произведения:** научно-литературный альманах / гл. ред. В.И. Старостин; Фонд им. академика В.И. Смирнова. – Москва: МАКС Пресс, 2017. – 424 с. – (Смирновский сборник – 2017).

ISBN 978-5-317-05720-6

УДК 55
ББК 26.3

СОДЕРЖАНИЕ

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО ДЕКАНА ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА МГУ, АКАДЕМИКА Д.Ю. ПУЩАРОВСКОГО.....	10

ЧАСТЬ I. ПРЕЗЕНТАЦИЯ КОМПАНИИ «АЛРОСА», ГЕНЕЗИС КИМБЕРЛИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ЭКОНОМИКА МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

<i>К.В. Гаранин</i> ПРЕЗЕНТАЦИЯ КОМПАНИИ АЛРОСА	10
<i>К.В. Гаранин, А.Ю. Никифорова</i> АЛРОСА – ВЕДУЩАЯ АЛМАЗОДОБЫВАЮЩАЯ КОМПАНИЯ МИРА	12
<i>К.В. Гаранин, И.В. Серов, А.Ю. Никифорова, О.С. Граханов</i> ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ КОМПЛЕКС АЛРОСА И АНАЛИЗ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ДЛЯ АЛМАЗООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ДО 2030 ГОДА.....	22
<i>В.К. Гаранин, К.В. Гаранин</i> ОСНОВНЫЕ ВЕХИ СОТРУДНИЧЕСТВА ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА МГУ ИМ.М.В. ЛОМОНОСОВА И КОМПАНИИ «АЛРОСА»	41
<i>В.К. Гаранин</i> ПОЛИГЕННОСТЬ И ДИСКРЕТНОСТЬ – ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ГЕНЕЗИСА ПРИРОДНОГО АЛМАЗА	88
<i>В.А. Кривицкий, В.И. Старостин</i> КОНЦЕПЦИЯ КЛАСТЕРНОЙ ЭВОЛЮЦИОННОЙ МИНЕРАГЕНИИ И ФОРМИРОВАНИЕ КИМБЕРЛИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ	130
<i>Ф.В. Каминский</i> ОСОБЕННОСТИ НИЖНЕМАНТИЙНЫХ АЛМАЗОВ.....	164
<i>А.В. Бобров</i> КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ВКЛЮЧЕНИЯ В АЛМАЗЕ – КЛЮЧ К ПОЗНАНИЮ МИНЕРАЛОГИИ МАНТИИ ЗЕМЛИ	175
<i>Ф.А. Летников, В.Л. Лось, В.А. Нарсеев</i> МЕСТОРОЖДЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ АЛМАЗОВ КУМДЫКУЛЬ (СЕВЕРНЫЙ КАЗАХСТАН).....	198
<i>П.А. Игнатов, К.В. Новиков, Н.Р.Зарипов, М.С. Ходня, А.М. Шмонов, А.Н Разумов, О.К. Килижеков, О.Е.Ковальчук, С.Г.Кряжеев</i> КОМПЛЕКС НЕТРАДИЦИОННЫХ ПОИСКОВЫХ ПРИЗНАКОВ КОРЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ, ИСПОЛЗУЕМЫЙ НА ЗАКРЫТЫХ ТЕРРИТОРИЯХ.....	207
<i>А.С. Галкин, В.Н. Ширококов, И.С. Зезин, В. Герман, Г.П. Киселев, В.А. Кривицкий, В.И. Старостин, Н.Ф. Скопенко, А.Д. Гальперин, Красоткин С.И.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ МЕТОДОВ ПОИСКОВ АЛМАЗОНОСНЫХ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТРУБОК С ПОЗИЦИИ ГИПОТЕЗЫ КЛАСТЕРНОЙ ЯДЕРНОЙ ДИССОЦИАЦИИ	229
<i>И.С. Гольдберг, С.Г. Алексеев, М.Б. Штоколенко</i> ГЕОХИМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ РУДНЫХ ПРОВИНЦИЙ США AU (CARLIN-TYPE) НЕВАДА, MO (CLIMAX TYPE) КОЛОРАДО, PB-ZN (MVT) МИССИССИПИ: СТРОЕНИЕ ГЕОХИМИЧЕСКОГО И ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ СИСТЕМ И ИСТОЧНИКИ МЕТАЛЛОВ В РУДНЫХ ПРОВИНЦИЯХ	249
<i>А.Л. Дергачев, В.И. Старостин</i> МИРОВОЙ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ КОМПЛЕКС: НОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ В XXI ВЕКЕ	266

ЧАСТЬ II. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ, СТРУКТУРА И АЛМАЗОНОСТЬ КИМБЕРЛИТОВЫХ ПОЛЕЙ ЯКУТСКОЙ И АРХАНГЕЛЬСКОЙ МИНЕРАГЕНИЧЕСКИХ ПРОВИНЦИЙ

В.В. Третьяченко

ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ МИНЕРАГЕНИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ АРХАНГЕЛЬСКОЙ
КИМБЕРЛИТ–ПИКРИТОВОЙ ОБЛАСТИ 288

С.А. Пыжьянов

МИРНИНСКАЯ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ АК «АЛРОСА» (ПАО) 322

Р.Ф. Салихов, И.Я. Павленко

АМАКИНСКАЯ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ АК «АЛРОСА» (ПАО)..... 329

И.И. Шмаков

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЕ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ (НИГП) АК АЛРОСА
(ПАО)..... 337

Р.Ю. Желонкин, А.Л. Земнухов

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СЛУЖБА АО «АЛМАЗЫ АНАБАРА» 345

А.С. Галкин, И.С. Зезин, В.Н. Ширококов

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СЛУЖБА ПУБЛИЧНОГО АКЦИОНЕРНОГО ОБЩЕСТВА «СЕВЕРАЛМАЗ»..... 353

Г.Д. Балакишин

КОМПЛЕКС ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ – ДИРЕКТИВА ИЛИ НЕОБХОДИМОСТЬ. 359

ЧАСТЬ III. ВОСПОМИНАНИЯ, НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫЕ И ЛИТЕРАТУРНЫЕ ПРОИЗВЕДЕНИЯ

И.И. Никулин

ВЫСОКОГЛУБИННАЯ СКВАЖИННАЯ ГИДРОДОБЫЧА РУД ИЗ ПАЛЕОКОР ВЫВЕТРИВАНИЯ И
ИХ ПРОДУКТОВ ПЕРЕОТЛОЖЕНИЯ (БЕЛГОРОДСКАЯ ОБЛАСТЬ)..... 366

В.Г. Кузнецов

Л.В. ПУСТОВАЛОВ И Н.М. СТРАХОВ - КРУПНЕЙШИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ЛИТОЛОГИИ XX
ВЕКА..... 377

М.Е. Раменская

ИЗ ИСТОРИИ ЭКСПЕДИЦИИ, ИСКАВШЕЙ, РАЗВЕДЫВАВШЕЙ И ДОБЫВАВШЕЙ ИСЛАНДСКИЙ
ШПАТ 397

С.Г. Белов

ДЕВЯТЫЙ КОРПУС 404

ВСТУПИТЕЛЬНОЕ СЛОВО ДЕКАНА ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА МГУ, АКАДЕМИКА Д.Ю. ПУЩАРОВСКОГО

Глубокоуважаемые коллеги! Дорогие друзья!

Наш факультет очень рад принять всех участников XXVIII Смирновских чтений. Мне выпала честь в 15-й раз открывать чтения и могу засвидетельствовать, что их проблематика неизменно расширяется, выходя за рамки традиционного для кафедры геологии и геохимии полезных ископаемых направления. Вот и сегодня в программе чтений – доклады известных ученых – представляющих организации, где развиваются идеи Владимира Ивановича и где рождаются новые идеи о геохимии и минералогии алмаза и его месторождений или более широко - углерода в глубинных геосферах.

Позвольте напомнить, что лишь небольшая часть содержащегося в нашей планете углерода сконцентрирована в минералах земной коры. Поэтому именно мантия рассматривается как главный резервуар этого химического элемента. В отличие от водорода в составе большинства породообразующих минералов нет углерода. Однако он участвует в ряде акцессорных минералов, классы которых меняются с глубиной, переходя от карбонатов в земной коре к мантийным лонсдейлиту и алмазу, а далее в основном - к железосодержащим карбидам.

Механизм роста кристаллов алмаза в мантии по-прежнему неясен. Воссоздание условий его кристаллизации связано, прежде всего, с изучением его включений. Именно они характеризуют среду (карбонатитовую, силифицированную или солевую) в которой росли кристаллы алмаза.

При этом в последнее время получено много данных, которые приведут к новым представлениям об этом загадочном минерале. Упомяну лишь три работы.

Найденное включение в алмазе ОН-содержащего рингвудита указывает на возможность его образования в переходной зоне между верхней и нижней мантией в интервале глубин 410-660 км с участием водородсодержащих расплавов и флюидов.

В конце декабря теперь уже прошлого 2016 года в журнале Science появилась статья, посвященная крупным Ангольским алмазам, содержащим металлические включения Fe,Ni-сплава, пирротина и когенита Fe₃C. Это уже минералы нижнемантийной ассоциации и даже зоны D''.

Мне, как декану, приятно отметить, что и наши исследователи вносят свой вклад в развитие представлений об алмазе. В программе чтений – очень интересный доклад проф. В.К.Гаранина, который обосновал, что состав шпинелидов, в частности участия в них Ti, может служить критерием алмазоносности.

Хорошо известно, что в России сосредоточено 46% мировых запасов алмаза, а добыча этого стратегически важного вида минерального сырья составляет 31% от мировой. Нашей главной алмазодобывающей компанией является Алроса, которая добывает 95 % всех алмазов России.

С особой благодарностью за участие в сегодняшнем заседании позвольте приветствовать президента Алросы Андрея Вячеславовича Жаркова, главного геолога К.В.Гаранина и их коллег – ведущих сотрудников компании, которые расскажут о стратегии и главных направлениях деятельности компании, а также о новых минералогических методах поиска коренных месторождений алмазов.

Хочу сказать и о том, что наши контакты с Алросой очень полезны. Мы широко используем в учебном процессе коллекцию алмазов массой в 104 карата и стоимостью 15 тыс. \$, которая была нам передана 7.12.2007 г.

Дорогие друзья!

Позвольте в этом вступительном слове еще раз приветствовать всех участников сегодняшнего заседания, наших гостей, выпускников факультета и пожелать всем присутствующим успешной и продуктивной работы.

ЧАСТЬ I. ПРЕЗЕНТАЦИЯ
КОМПАНИИ «АЛРОСА», ГЕНЕЗИС
КИМБЕРЛИТОВЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ЭКОНОМИКА
МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ



Гаранин Константин Викторович. Главный геолог АК «АЛРОСА» ПАО. Родился в 1975 году. В 2000 г. окончил Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, экономический факультет; в 2002 г. – Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геологический факультет; в 2004 г. – Новый гуманитарный университет, юридический факультет; с 2004 г. – кандидат геолого-минералогических наук. Трудовая деятельность за последние годы: С 1991 по 2016 гг. работал в отечественных и зарубежных научно-производственных предприятиях (Институт прикладной минералогии и геохимии, Институт минералогии, ЭЛИДЕ, Siber Resources Ltd и др.) в должности инженера, администратора, руководителя проекта, коммерческого директора, генерального директора. С 2003 по 2016 гг. –

инженер, ведущий инженер, научный сотрудник Геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. С 2004 по 2006 гг. – геолог, старший геолог компании Sakawe Mining Corporation (Намибия). С 2010 по 2012 гг. – заведующий лабораторией, главный геолог, технический управляющий компаний LINDAL DRC Sprl (ДРК Конго) и Supras Resources (TZ) Limited (Танзания). С 2012 по 2016 гг. – Главный геолог Pan African Metals Corporation (Швейцария). С 2013 по 2016 г. – Генеральный директор PAMETCO Mining P.L.C. (Эфиопия). С 25 февраля 2016 г. – Советник Президента АК «АЛРОСА» по геологоразведочному комплексу. С 30 мая 2016 г. – Главный геолог АК «АЛРОСА».

К.В. Гаранин **ПРЕЗЕНТАЦИЯ КОМПАНИИ АЛРОСА**

Уважаемые друзья, коллеги читатели. Представляемый Вашему вниманию Смирновский сборник содержит материалы, представленные на XXVIII ежегодных чтениях имени академика В.И. Смирнова.

Тематика проведенных чтений была посвящена широкому кругу задач, решаемых геологами. Значительная часть докладов была посвящена вопросам алмазодобывающей промышленности, поискам, оценке и разведке месторождений алмазов, осуществляемых лидером данного направления АК «АЛРОСА» (ПАО). Среди представленных материалов можно выделить труды Г.Д. Балакшина и В.М. Зуева – патриархов алмазной геологии страны и АК «АЛРОСА» (ПАО), чей труд способствует Мировой славе отечественной геологии.

В настоящее время тематика работ, проводимых подразделениями и предприятиями геологоразведочного комплекса АК «АЛРОСА» (ПАО) весьма обширна. Геология в компании служит выполнению основной задачи геологоразведочного комплекса – воспроизводству минерально-сырьевой базы алмазов. Основными направлениями ГРП являются проведение геологоразведочных и эксплоразведочных работ. Среди производственных геологических процессов, реализуемых специалистами ГРК компании, выделяются: общегеологические исследования, использование современных геолого-геофизических методов поисков, горно-буровые, и топогеодезические работы, использование обогатительных мощностей. Важная роль в процессе геологических работ отводится комплексу изучения кимберлитовых пород и минералов, который включает в себя проведение петрологических минералого-геохимических исследований, изучение петрофизических свойств пород. Результаты исследований формируют современный геолого-информационный комплекс данных, используемый в практике геологоразведочных работ. В практике ГРП особое внимание

уделяется инновационным методам, которые позволяют внедрять новые методики и технологии поисков месторождений алмазов. Решения по работам над поисково-оценочными и разведочными объектами принимаются на основе комплексного геолого-экономического анализа. Эффективность проводимых ГРП позволяет компании поддерживать высокую обеспеченность минерально-сырьевой базы – общие запасы алмазов по Группе «АЛРОСА» составляют более 1 млрд карат.

В практике ГРП АК «АЛРОСА» (ПАО) особая роль отводится научному обеспечению работ. Среди подразделений ГРК необходимо выделить Научно-исследовательское геологоразведочное предприятие, которое выполняет работы по прогнозу, экспертно-методологическому и аналитическому обеспечению ГРП. Предприятия и подразделения ГРК Компании традиционно работают в контакте с ведущими институтами и ВУЗами не только в России, но и за рубежом. Среди этих организаций важную роль играет МГУ им. М.В. Ломоносова. История взаимоотношений компании и университета имеет давнюю историю, многие из выпускников МГУ работают в геологоразведочном комплексе АК «АЛРОСА» (ПАО). Эта история подробно изложена в повествовании В.К. Гаранина, одного из основоположников алмазной геологии МГУ.

В этом году подписано соглашение о сотрудничестве между нашими организациями, что позволяет констатировать высокий уровень взаимодействия между научно-образовательным и производственным сообществом. Мы видим, что геологическая отрасль, в том числе и алмазная – связующее звено между образованием, наукой и производством. С удовлетворением можно отметить, что задачи и вызовы, стоящие перед геологами разных специальностей, интересны и обширны, и мы верим, что они решаемы. А с учетом потенциала АК «АЛРОСА» и МГУ верим, что реализация на практике геологических работ данных решений позволит нам вместе открыть новые месторождения алмазов, повысить экономический потенциал нашей страны.

К.В. Гаранин, А.Ю. Никифорова
**АЛРОСА – ВЕДУЩАЯ АЛМАЗОДОБЫВАЮЩАЯ КОМПАНИЯ
МИРА**

АЛРОСА – российская группа компаний (далее Группа), нацеленная на комплексное решение приоритетных национальных задач по освоению природных ресурсов. Компания является мировым лидером по объёму добычи и стоимости извлеченных алмазов, на ее долю приходится треть запасов и более четверти объемов добычи мирового алмазного рынка.

АК «АЛРОСА» (ПАО) (далее Компания) имеет длительную и успешную историю развития, начало первой промышленной добыче алмазов было положено 60 лет назад в 1957 году.

АЛРОСА придерживается монопродуктовой стратегии с фокусом на разведке и добыче алмазного сырья как на самом привлекательном сегменте алмазной отрасли с наиболее высокой рентабельностью.

АЛРОСА поддерживает и расширяет минерально-сырьевую базу, продолжая вкладывать средства в проведение целенаправленных геологоразведочных работ в многообещающих регионах России и Африки, имеющих, по оценке Компании, самый высокий потенциал открытия новых рентабельных месторождений. Кроме того, АЛРОСА повышает эффективность разработки уже действующих месторождений.

Повышая производительность АЛРОСА уделяет большое внимание инновационному развитию и использованию новых технологий с целью повышения операционной эффективности и, как следствие, рентабельности бизнеса. Компания активно оптимизирует структуру затрат на всех этапах процесса производства. Среди принимаемых мер – организация эффективного процесса закупок, применение норм для повышения производительности труда, внедрение интегрированной управленческой отчетности, сокращение оборачиваемости складских запасов.

Компания соблюдает высокие стандарты экологической и промышленной безопасности, социальной ответственности и корпоративного управления в регионах присутствия. АЛРОСА традиционно проводит комплекс мероприятий, направленных на поддержку персонала и создание условий для профессионального роста специалистов, обеспечение безопасных условий труда и соблюдение экологических стандартов деятельности.

Компания продолжает оказывать услуги социальной направленности в регионах своего присутствия путем создания рабочих мест, уплаты налогов и сборов, дивидендов в бюджеты субъектов Российской Федерации.

АЛРОСА – признанный лидер алмазодобывающей отрасли с безупречной репутацией среди покупателей. Компания совершает последовательные действия, направленные на расширение базы лояльных и надежных клиентов и формирование репутации клиентоориентированного делового партнера. Группа продолжает работу по либерализации и совершенствованию режима регулирования реализации алмазов.

Компания активно продвигает бренд АЛРОСА и способствует росту влияния Компании в алмазной отрасли через активное участие в работе международных организаций.

Основная деятельность Группы «АЛРОСА» сосредоточена в двух регионах Российской Федерации – в Республике Саха (Якутия) и Архангельской области, а также на Африканском континенте. При этом, география присутствия АЛРОСА весьма обширна (рис. 1).

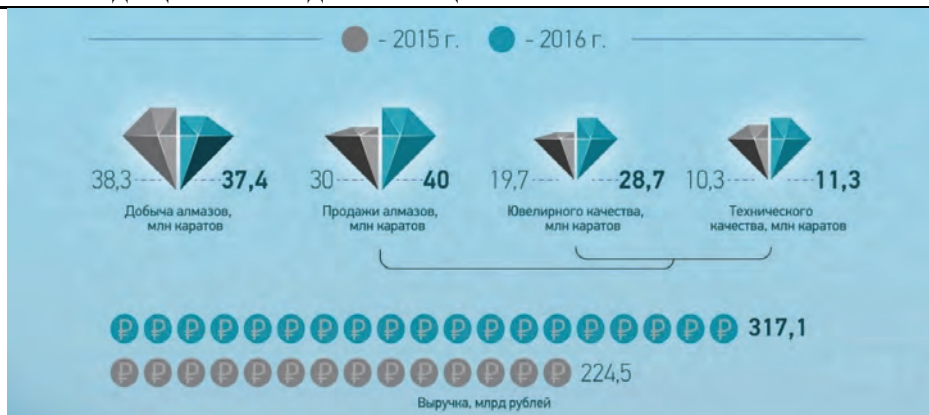


Рис. 2. Показатели выручки и структура алмазной продукции.

По итогам 2016 года Группа «АЛРОСА» добыла 37,4 млн карат алмазов и сохранила лидирующее положение среди ведущих алмазодобывающих компаний (Рис. 2). Рост спроса на алмазы позволил увеличить объемы реализации основной продукции на 33,2% по сравнению с 2015 годом – до 40 млн карат. По итогам года на долю алмазного сегмента пришлось более 92% от консолидированной выручки. Главными конкурентами АЛРОСА являются компании De Beers, Rio Tinto, Dominion Diamond и Petra Diamonds. Объем добычи алмазов этих компаний в 2016 г. сохранился на уровне 2015 года и обеспечил около 70% мирового предложения. По итогам 2016 года Группа АЛРОСА добыла 37,4 млн карат алмазов (в 2015 году — 38,3 млн карат) и сохранила лидирующее положение среди ведущих алмазодобывающих компаний мира с долей рынка 29%.

Бизнес-модель Группы АЛРОСА направлена на укрепление лидирующих позиций на алмазном рынке, обеспечение устойчивого долгосрочного роста добычи и выручки, а также увеличение акционерной стоимости.

АЛРОСА не только использует свои существующие конкурентные преимущества, но и уделяет большое внимание инновационному развитию и использованию современных технологий с целью повышения операционной эффективности и, как следствие, рентабельности бизнеса. В 2016 г. маржа чистой прибыли Компании достигла показателя 42% (Рис. 3).

Группа АЛРОСА традиционно уделяет особое внимание созданию условий для экономического роста в регионах присутствия. Соблюдение высоких стандартов экологической и промышленной безопасности, а также баланс интересов всех заинтересованных сторон позволяют Компании иметь хорошую корпоративную репутацию и обеспечивать долгосрочное устойчивое развитие.

Ситуация на мировом алмазно-бриллиантовом рынке 2016 году по сравнению с 2015 годом характеризовалась повышением торговой активности и ростом спроса на алмазы. В гранильной промышленности отмечался рост загрузки производственных мощностей.

Существенное сокращение объемов предложения и снижение цен производителями алмазов в 2015 году благоприятным образом отразилось на конъюнктуре алмазно-бриллиантового рынка, что позволило снизить к началу 2016 года стоки в отрасли и реализовать в течение 2016 года часть товара, направленного ранее в запасы.

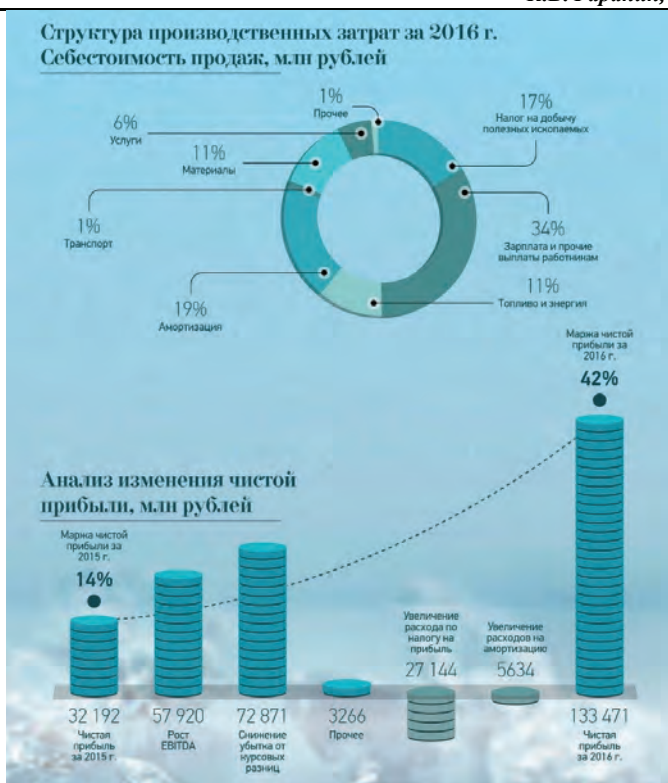


Рис. 3. Структура производственных затрат и анализ изменения чистой прибыли.

Совокупная реализация алмазно-бриллиантовой продукции Группы «АЛРОСА» по итогам 2016 года составила 4 486,1 млн. долл. США, что на 26,2% выше продаж 2015 года, в т. ч. алмазов – 4 375,6 млн. долл., бриллиантов – 110,5 млн. долл. Поставки алмазов в Гохран РФ составили 65,6 млн. долл.

В отчетном году Компания продолжила работу по привлечению новых покупателей с тестированием в режиме спотовых продаж с перспективой подписания новых долгосрочных соглашений.

С учетом анализа перспектив развития мирового алмазного рынка, прогнозируется, что в 2017-2018 гг. предложение алмазного сырья будет наращиваться темпами, опережающими спрос на алмазы, что предполагает снижение цен. Превышение спроса на алмазы и увеличение цен прогнозируется с 2019 года.

При планировании объема предложения алмазов на мировом рынке в 2017 году АК «АЛРОСА» исходила из умеренно-консервативной оценки заявленных планов алмазодобывающих компаний по объему производства на действующих месторождениях, учитывая невыполнение алмазодобывающими компаниями объявленных планов добычи в 2014-2016 гг. Планом на 2017 год предусмотрена реализация текущих поставок от добычи в количестве 38,9 млн карат, которые поступят в реализацию с учетом технологического цикла сортировки, комплектации и сбыта, а также 1 млн карат из стока.

Запасы и геологоразведочные работы

Сохранение и расширение ресурсной базы – один из основных стратегических приоритетов Группы АЛРОСА. Запасы месторождений, стоящих на балансе Группы АЛРОСА, по стандартам ГКЗ РФ (категории A+B+C₁+C₂) на 01.01.2017 года составили

1 159 906 тыс. карат (на 01.01.2016 — 1 107 902,3 тыс. карат). Прирост запасов за последние 25 лет составил 435 млн. карат (Рис. 4). Доказанные запасы по классификации JORC составляют более 650 млн. карат, ресурсы – более 1 млрд карат.

АЛРОСА имеет собственный современный геологоразведочный комплекс, обеспечивающий поддержание и наращивание объема ресурсной базы. Геологоразведочные работы проводятся в Республике Саха (Якутия), Архангельской области, а также в странах Африки – Анголе и Ботсване. В разработке находятся 10 коренных месторождений, представленных кимберлитовыми телами и 15 россыпных. В эксплуатации находятся 4 подземных рудника: «Удачный», «Айхал», «Мир» и «Интернациональный». Объемы добычи будут обеспечены за счет отработки известных месторождений алмазов, а также благодаря вводу в эксплуатацию новых объектов.

Прирост запасов и ресурсов алмазов АК «АЛРОСА» (ПАО) за 2016 год составил 57,86 млн карат. Геологоразведочные работы в 2016 году производились по 18 лицензиям на 45 объектах в восьми алмазоносных районах Якутской алмазоносной провинции, в составе которой выделяются: Средне-Мархинский, Муно-Тюнгский, Далдыно-Алаakitский, Моркокинский, Ыгыаттинский, Малоботубинский, Верхне-Оленекский и Нижне-Оленекский. Геологоразведочные работы завершены на 10 объектах. Мелко- и среднемасштабные поисковые работы, направленные на выявление новых кимберлитовых полей, выполнялись в Моркокинском, Ыгыаттинском, Муно-Тюнгском, Верхне-Оленекском, Нижне-Оленекском алмазоносных районах. На выполнение геологоразведочных и эксплоразведочных работ Компанией в 2016 г. было направлено 5,95 млрд. руб.



Рис. 4. Запасы алмазов Группы «АЛРОСА» по итогам 2016 г.

Более детальные поисковые исследования, направленные на выявление новых коренных месторождений алмазов, проводились главным образом в зонах деятельности ГОКов АК «АЛРОСА» (ПАО) (Далдыно-Алаakitский, Средне-Мархинский, Малоботубинский алмазоносные районы). В результате поисковых работ выявлено новое кимберлитовое тело Январское в Алаakit-Мархинском поле (Рис. 5) и установлена кимберлитовая природа аэромагнитной аномалии в Верхне-Мунском поле.

Добыча и горно-обогащительное производство

Группе АЛРОСА принадлежит шесть горнодобывающих комплексов, четыре из которых входят в состав АК «АЛРОСА» (ПАО): Удачинский ГОК, Айхальский ГОК, Мирнинский ГОК и Нюрбинский ГОК; два других — АО «Алмазы Анабара» (включая добывающие и обрабатывающие мощности компании АО «Нижне-Ленское») и ПАО «Севералмаз» - представляют собой дочерние предприятия. В структуру каждого ГОКа

входят одно или несколько месторождений, обогатительные мощности и парк оборудования и автотранспорта.

Технологическая база производства компании основана на лучших мировых достижениях науки и техники и уникальном техническом опыте работы в суровых климатических условиях севера России. АЛРОСА одно из немногих предприятий в алмазодобывающей промышленности, реализующее комплексный подход в освоении месторождений алмаза. Коренные и россыпные месторождения алмазов отрабатываются открытым и подземным способом, для отработки россыпей используется дражный флот (Рис. 6) и мобильные обогатительные установки (Рис. 7).



Рис. 5. Буровые работы в Алакит-Мархинском поле.



Рис. 6. Обогатительная установка на террасе р. Ирелях



Рис. 7. Отработка россыпного месторождения «Горное» с использованием драги.

В 2016 году горнодобывающими подразделениями АК «АЛРОСА» отбито 43,5 млн. м³ горной массы, на подземных рудниках добыто 2,6 млн. т. руды. Завершена отработка запасов открытым способом месторождения карьер «Удачный», благоприятные горно-геологические условия позволили обеспечить наиболее полное извлечение запасов. В течение 2016 года были реализованы многочисленные мероприятия, направленные на перспективное развитие и повышение эффективности ведения горных работ. Обогажительными фабриками Компании обработано 19,2 млн. т. сырья, драгами промыто 1,5 млн. м³ песков. Группа «АЛРОСА» продолжает работы по техническому перевооружению ГОКов и производственных мощностей.

Охрана труда и промышленная безопасность

АЛРОСА традиционно уделяет повышенное внимание охране труда и промышленной безопасности.

В 2016 году в структурных подразделениях Компании проводилась внеплановая специальная оценка условий труда на вновь введенных рабочих местах и рабочих местах, имеющих основания для ее проведения. По результатам оценки разработана и направлена на утверждение «Комплексная программа улучшения условий труда на рабочих местах в подразделениях АК «АЛРОСА» (ПАО) на 2017-2019 гг.». Также проведен внешний аудит системы управления промышленной безопасности и охраны труда АК «АЛРОСА» (ПАО), разработана программа по совершенствованию данной системы.

Ранее оценку условий труда проводили с помощью процедуры аттестации рабочих мест. Но признав неэффективность процедуры, а также в силу проведения пенсионной реформы и разработки нового механизма, который регулирует систему предоставления компенсаций и льгот, выплат страховых тарифов в Пенсионный фонд РФ была разработана новая специальная оценка условий труда, в которой учтен положительный опыт предшествующих лет в области оценки соответствия условий труда.

Правовые и организационные основы и порядок проведения специальной оценки условий труда регламентируется Федеральным законом № 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда», принятым 28 декабря 2013 года и вступившим в законную силу с 1 января 2014 года.

Каждый работник АЛРОСА имеет право обжаловать результаты проведения специальной оценки условий труда на его рабочем месте в соответствии со статьей 26 настоящего Федерального закона. В АК «АЛРОСА» (ПАО) разногласия по вопросам проведения специальной оценки условий труда, несогласие работника с результатами проведения специальной оценки условий труда на его рабочем месте, рассматриваются на уровне комиссии по охране труда созданной при профсоюзе «Профалмаз». При направлении обоснованного мнения первичной профсоюзной организации на рабочем месте имеющем разногласия проводится внеплановая специальная оценка. Работник также в праве обратиться в федеральный орган исполнительной власти, уполномоченным на проведение федерального государственного надзора за соблюдением трудового законодательства.

В 2016 года проведены аудит безопасности по защите органов слуха и аудит безопасности по изоляции источников питания, обозначения, и ограждения опасных зон на производственных площадках и территориях, с последующей разработкой стандарта предприятия.

По результатам использования спецодежды, внесены изменения в технические условия костюмов в корпоративном стиле Компании в части применяемых материалов и деталей костюмов.

В 2017 году запланированы производственные испытания, разработка и принятие единых подходов по применению активных, пассивных средств индивидуальной защиты слуха с учетом выполняемых производственных операций и проведение аудита безопасности по организации работ на высоте.

Финансирование мероприятий по охране труда в 2016 году составило 1 107,7 млн руб., в т. ч. на приобретение средств индивидуальной защиты и спецодежды – 333,1 млн руб.

Кадровая политика

Традиционно, большое внимание руководством Компании уделяется кадровой политике, нацеленной на эффективное и рациональное использование трудовых ресурсов. Среднесписочная численность работников Компании в 2016 году составила 28652 человека.

В 2016 году прошли различные виды обучения 16 524 человека из числа рабочих, специалистов и руководителей. В подразделения АК «АЛРОСА» трудоустроен 141 выпускник высших и средних профессиональных учебных заведений, в том числе с высшим образованием – 50 выпускников. По состоянию на конец 2016 года в Компании работало 5 206 человек в возрасте до 30 лет.

Для выполнения определенных и временных работ на строящихся производственных объектах, Компанией привлекались квалифицированные рабочие по вахтовому методу с обязательным вовлечением в работу местных трудовых ресурсов. За год, в подразделения Компании было принято (исключая вахтовый метод работы) 3 203 человека из Республики Саха (Якутия), в том числе из улусов «Алмазной провинции» 1 470 человек.

В рамках исполнения приказа о привлечении персонала на дефицитные профессии и должности в подразделения АК «АЛРОСА» за 2016 г. был принят 81 человек.

В соответствии с «Положением о негосударственном пенсионном обеспечении работников АК «АЛРОСА» (ПАО)» в 2016 году оформлено 958 распоряжений о назначении негосударственной пенсии за выслугу лет и 22 распоряжения о назначении негосударственной пенсии по потере кормильца.

В 2016 году в соответствии с приказом от 05.08.2016 №А01/235-П «Об утверждении плана мероприятий по разработке и внедрению изменений в корпоративную программу негосударственного пенсионного обеспечения работников АК «АЛРОСА» (ПАО)» рабочей группой подготовлен проект новой редакции Положения о негосударственном пенсионном обеспечении работников АК «АЛРОСА» (ПАО).

Новое Положение о негосударственном пенсионном обеспечении работников АК «АЛРОСА» (ПАО) предполагает переход на паритетную пенсионную программу. Пенсионные накопления в Фонде будут формироваться за счет отчислений работника и Компании в равных долях, что обеспечивает 100% доходность, которую не могут гарантировать банки на финансовом рынке.

29 декабря 2016 года подписан Коллективный договор между Компанией и Межрегиональным профессиональным союзом работников Компании «Профалмаз» на 2017-2019 года, предусматривающий сохранение льгот и гарантий предыдущего договора.

Международная деятельность

АК «АЛРОСА» (ПАО) осуществляет активную международную деятельность, направленную на защиту интересов Компании на мировой арене и эффективное развитие мировой алмазно-бриллиантовой отрасли совместно с иностранными партнерами.

Компания активно взаимодействует с партнерами в рамках Всемирного алмазного совета (далее – ВАС) в статусе наблюдателя в Кимберлийском процессе (далее — КП), межгосударственной инициативе, нацеленной на недопущение «конфликтных» алмазов в каналы международной торговли.

В сентябре 2016 года АК «АЛРОСА» (ПАО) вступила в Совет по ответственной практике в ювелирном бизнесе (RJC), международную некоммерческую организацию, созданную для укрепления доверия потребителей ко всей цепочке поставок ювелирной отрасли и внедрения практик ответственного ведения бизнеса.

5 октября 2016 года в Нью-Йорке при поддержке АК «АЛРОСА» (ПАО) Ассоциация производителей алмазов, созданная в мае 2015 года, осуществила запуск первой кампании видового маркетинга на территории США в рамках реализации концепции «Real is Rare. Real is a Diamond». Была достигнута договоренность о финансовом участии Совета по содействию экспорту драгоценных камней и ювелирных изделий Индии (GJEPC) в реализации кампании. Ведутся переговоры об участии с другими крупными представителями мировой алмазно-бриллиантовой отрасли.

В 2016 году активно развивалось двустороннее взаимодействие по вопросам отраслевого сотрудничества с крупнейшими национальными организациями мирового алмазно-бриллиантового сообщества, а также по линии межгосударственных контактов с другими алмазодобывающими странами, крупными торговыми центрами алмазно-бриллиантовой отрасли и государствами присутствия партнеров Компании.

Прочая деятельность

Деятельность Группы АЛРОСА, не связанная с добычей алмазов, представлена четырьмя основными категориями:

- транспортные предприятия: услуги авиалиний, услуги транспортировки, услуги в транспортных терминалах, портах, аэропортах;
- предприятия социальной направленности в регионах, где Компания осуществляет свою основную деятельность: жилые дома, спортивные и культурные сооружения, кинотеатры, театры и прочая социальная инфраструктура;
- газовые предприятия: производство и продажа газа;
- прочие предприятия: торговые предприятия, компании по оказанию типографских услуг.

В 2016 году совокупная выручка Группы АЛРОСА от непрофильной деятельности составила 23,2 млрд рублей. Компания продолжила работу по реализации непрофильных активов в соответствии с Программой отчуждения непрофильных активов АК «АЛРОСА» (ПАО). В соответствии с директивами Правительства Российской Федерации Компания подготовила четвертую редакцию программы, учитывающую Методические указания Росимущества по выявлению и отчуждению непрофильных активов. 28 сентября 2016 года Наблюдательный совет утвердил новую редакцию Программы отчуждения непрофильных активов АК «АЛРОСА» (ПАО).

Заключение

В 2016 году, по итогам независимой оценки социальной ответственности компаний АК «АЛРОСА» вошла в число лидеров индексов устойчивого развития Российского союза промышленников и предпринимателей «Ответственность и открытость» и «Вектор устойчивого развития», и получила сертификат соответствия, подтверждающий, что Компания внедрила и поддерживает систему управления социальной ответственностью в соответствии с требованиями международного стандарта со сроком действия три года.

В ближайшие годы Компания планирует сохранить производственный потенциал обеспечивая уровень добычи алмазного сырья по Группе АЛРОСА на уровне 40 млн карат, вводя в эксплуатацию новые месторождения алмазов (например, «Верхне-Мунское» и «трубка Заря»), а также развивая имеющиеся производственные мощности.

Продолжится совершенствование корпоративной структуры за счет реализации Программы отчуждения непрофильных активов, реорганизация коммунального и ограниченного комплексов Компании.

Одной из ключевых задач, стоящих перед Компанией, будет являться развитие минерально-сырьевой базы в наиболее перспективных регионах – Якутии, Архангельской области и Африке. Перспективным направлением при этом будет являться вовлечение в отработку россыпей алмазов с попутной добычей золота и платины;

Компания планирует продолжить оптимизацию продаж алмазной продукции по Группе «АЛРОСА» реализуя программы видового маркетинга Ассоциации производителей алмазов, запуская программы продаж на территории Китая и Индии, разрабатывая и внедряя собственную платформу для проведения торгов алмазным сырьем в электронной форме. Важным достижением Компании в плане сбыта продукции является организация регулярных продаж алмазного сырья и бриллиантов филиалом компании во Владивостоке, а также открытие представительства Компании в Индии.

Существенный потенциал Компании состоит и в повышении экономической эффективности деятельности. Среди ключевых направлений развития этом направлении - разработка и внедрение системы антикризисного управления, реализация мероприятий в рамках развития программы АЛРОСА Альянс, централизация и оптимизация бизнес-процессов закупочных процедур Группы «АЛРОСА» на базе Контрактной службы АК «АЛРОСА», обеспечение проведения конкурентных закупочных процедур.

Компании необходимо развитие и укрепление репутационного потенциала: актуализация бренда АЛРОСА и разработка бренд-платформы, участие АЛРОСА в отраслевом видовом маркетинге, и реализация собственных инициатив по защите природного происхождения алмазов/бриллиантов, разработка и утверждение комплексной программы организации страховой защиты по обязательным и добровольным видам страхования.

Будущее Компании – в сохранении лидирующих позиций в отрасли, концентрации на разведке, добыче и продаже минерального сырья, развитии уникальных активов и соблюдении баланса интересов на территориях присутствия.

Впечатляющие итоги деятельности Компании в течение последних лет подтверждают эффективность выбранного пути и позволяют рассчитывать на дальнейшее устойчивое развитие АЛРОСА на благо Российской Федерации, Республики Саха (Якутия) и других акционеров.

К.В. Гаранин, И.В. Серов, А.Ю. Никифорова, О.С. Граханов
**ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ КОМПЛЕКС АЛРОСА И АНАЛИЗ
СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ДЛЯ АЛМАЗООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ДО 2030 ГОДА**

Геологоразведочный комплекс Группы «АЛРОСА»

АК «АЛРОСА» (ПАО) – признанный лидер алмазодобывающей промышленности Мира. В целом, в структуру Группы «АЛРОСА» входят горно-обогатительные комбинаты (ГОКи), сбытовые, инфраструктурные, геологоразведочные подразделения, представительства, алмазно-бриллиантовые, промышленные, строительные, кредитно-финансовые, социальные предприятия, организации снабжения и транспорта.

В настоящее время общая стратегия Группы «АЛРОСА» предусматривает концентрацию на алмазном бизнесе при поддержании и расширении объема запасов и ресурсов через проведение целенаправленных геологоразведочных работ (ГРР) в перспективных регионах России и Африки. Реализация данной стратегии напрямую связана с повышением производительности труда посредством инноваций и непрерывного совершенствования производственных процессов, сохранении лидирующих позиций в алмазодобывающей отрасли в Мировом и реализации новой модели социальной ответственности на предприятиях Компании в России, призванной обеспечивать жизненно необходимые услуги в отдаленных регионах.

Стратегические задачи Группы «АЛРОСА» – это развитие производственных мощностей, воспроизводство минерально-сырьевой базы, повышение экономической эффективности производства, развитие сбытовой сети и развитие системы социального партнерства.

Таким образом, можно заключить – задача воспроизводства минерально-сырьевой базы в алмазодобывающей отрасли является ключевой в процессе успешного развития компании. Для решения этой задачи создана геологическая служба Компании. Геологоразведочный комплекс (ГРК) Группы «АЛРОСА» – совокупность структурных подразделений АК «АЛРОСА» (ОАО) и геологических служб предприятий Группы «АЛРОСА», осуществляющих геологоразведочную деятельность, выполняющих работы по геологическому изучению, использованию и охране недр Российской Федерации и за рубежом

Воспроизводство минерально-сырьевой базы в алмазодобывающей отрасли происходит за счет поиска и открытия новых месторождений, доизучения и разведки резервных месторождений и перспективных проявлений алмазов, а также при доразведке глубоких горизонтов эксплуатируемых месторождений.

ГРК Группы «АЛРОСА» представлен службой главного геолога (в него входят отделы поисковой геологии и эксплуатационной разведки), геологоразведочными предприятиями – Амакинской (АГРЭ), Ботубинской (БГРЭ) и Мирнинской (МГРЭ) геологоразведочными экспедициями, а также научно-исследовательским геологическим предприятием (НИГП) и геологическими службами ГОКов. В состав службы входят и геологические службы дочерних и зависимых обществ (ДЗО) в России АО «Алмазы Анабара», АО «Нижнеленское» и ПАО «Севералмаз». Сформированы и успешно функционируют геологические службы совместных предприятий (ДЗО), осуществляющих ГРР на Африканском континенте – СП «Киманг», СП «Ботсвана Даймондс». В рамках участия АК «АЛРОСА» (ПАО) в ГРО «Катока» происходит взаимодействие геологических служб данных предприятий (рис.1).

В настоящее время в ГРК группы «АЛРОСА» работает 2537 человек, в том числе 1358 человек - рабочих и 1179 – руководителей, специалистов и служащих.

Геологоразведочные работы – это интеллектуальное и трудоемкое производство, в котором численность геолого-геофизического персонала с высшим и средне-техническим образованием составляет более 600 человек, из них четыре человека имеют ученую степень доктора наук и 25 человек – кандидата наук.

География деятельности ГРК Группы «АЛРОСА» сосредоточена в Российской Федерации – в Республике Саха (Якутия) и Архангельской области и Африке – в Анголе и Ботсване (рис. 2).



Рис. 1. Структура ГРК Группы «АЛРОСА».



Рис. 2. География деятельности ГРК Группы «АЛРОСА»

Целевое назначение ГРР, проводимых ГРК Группы «АЛРОСА» – это обеспечение алмазодобывающих подразделений группы «АЛРОСА» запасами алмазов промышленных категорий.

Исходя из этой цели, формулируются основные задачи ГРК:

1. Прирост запасов алмазов и прогнозных ресурсов категории Р1, получаемых в результате разведки новых и доразведки известных коренных и россыпных месторождений, а также проведения поисково-оценочных работ на новых выявленных объектах;
2. Прирост прогнозных ресурсов категорий Р2 и Р3, получаемых в результате проведения комплекса поисковых работ.

Решение этих задач предполагает:

- открытие при проведении крупномасштабных (детальных) поисковых работ алмазонасных кимберлитовых тел их оценку и разведку в границах освоенных промышленностью алмазонасных районов: Средне-Мархинского, Далдыно-Алакитского, Мало-Ботубинского, Анабарского, Приленского в Якутии, Зимнебережного района в Архангельской области, а также территорий Северо-Восточной Анголы, Центральной и Северо-Восточной Ботсваны;
- открытие кимберлитовых полей на стадии среднемасштабных поисковых работ (общих поисков) на перспективных территориях;
- комплексное геологическое изучение территорий и прогнозирование месторождений (мелкомасштабные исследования слабоизученных районов) с выделением территорий для постановки поисковых работ;
- оценка алмазонасности новых перспективных площадей в Африке.

Решение этих задач будет проводиться путём оптимизации видов и объёмов геологоразведочных работ (ГРП), повышения их эффективности за счет технического перевооружения, внедрения инновационных технологий и совершенствования методик поисков.

Геологическое изучение недр требует разработки и комплексного использования научно-обоснованных геолого-геофизических, минералогических и других методов прогнозирования и поисков месторождений алмазов в пределах перспективных площадей, формирования оптимального комплекса технологий оценки и разведки алмазных месторождений.

В настоящее время перед ГРК Компании стоит задача совершенствования и повышения эффективности поисковых и геологоразведочных работ, в связи с усложнением геологических обстановок и снижением темпов открытия новых месторождений алмаза на территориях работ.

Опыт других мировых горнодобывающих компаний свидетельствует о диверсификации – как основе для устойчивого развития при колеблющихся конъюнктурах рынка. Поэтому в условиях растущего дефицита сырьевой базы Компании возврат к идеям вхождения в другие сырьевые отрасли представляется ожидаемым. Этот вопрос требует дополнительных обсуждений.

Для обнаружения новых месторождений алмазов проводится **комплекс геологоразведочных работ по изучению недр**. Согласно утвержденной в АК «АЛРОСА» стадийности геологоразведочных работ на алмазы, в зависимости от поставленных целей, процесс геологического изучения недр подразделяется на 3 этапа и 7 стадий.

Этап I. Работы общегеологического и минерагенического назначения.

- Стадия 1. Региональное геологическое изучение недр и прогнозирование месторождений алмазов (в масштабе 1:500 000 – 1:1 500 000 и мельче).
- Стадия 2. Комплексное геологическое изучение территорий (в масштабе 1:200 000-1:100 000) и прогнозирование месторождений алмазов.

Этап II. Поиски и оценка месторождений.

- Стадия 3. Общие поиски.
- Стадия 4. Поисковые работы.
- Стадия 5. Оценочные работы.

Этап III. Разведка и освоение месторождений.

- Стадия 6. Разведка месторождения.
- Стадия 7. Эксплуатационная разведка.

На ранних стадиях работ проводится опережающий комплекс работ: дешифрирование и исследование космо- и аэроснимков, используются «легкие» методы,

включающие маршрутные исследования, шлиховое опробование речной сети, мелко- и крупнообъемное опробование русловых отложений.

На стадии поисков и разведки месторождений широко используются геофизические методы, основанные на регистрации геофизических полей и аномалий (магнитных, электромагнитных, гравитационных), создаваемых рудными телами. Геофизические работы выполняются как наземным, так и аэрогеофизическим способом. В последнем случае в качестве носителя используются вертолеты и легкие самолеты.

В сложных геологических условиях основными методами поисков являются горно-буровые работы (проходка шурфов и канав, бурение скважин), сопровождаемые опробованием и обогащением продуктивных образований.

Обычно работы общегеологического и минерагенического назначения во всем Мире производятся за счет средств государственного финансирования. Однако в условиях недостаточного уровня общего финансирования ГРР в Российской Федерации, Компания проводит данные работы, вкладывая значительный объем собственных средств. Таким образом, Компания прилагает весомые усилия в повышение степени изученности недр в нашей стране, внося огромный вклад в развитие отечественной системы недропользования.

Результативность ГРР осуществленных ГРК Группы «АЛРОСА» проиллюстрирована на рис. 3. В настоящее время на балансе запасов Компании находится 1 159 006 карат алмазов, содержащихся в 1 349 461 т руды. Общий прирост запасов за период 1992-2016 г. составил 434,5 млн карат (в том числе 43,6 в 2015 г., 58,4 в 2016 г.). Структура запасов алмазов представлена на рис. 4.

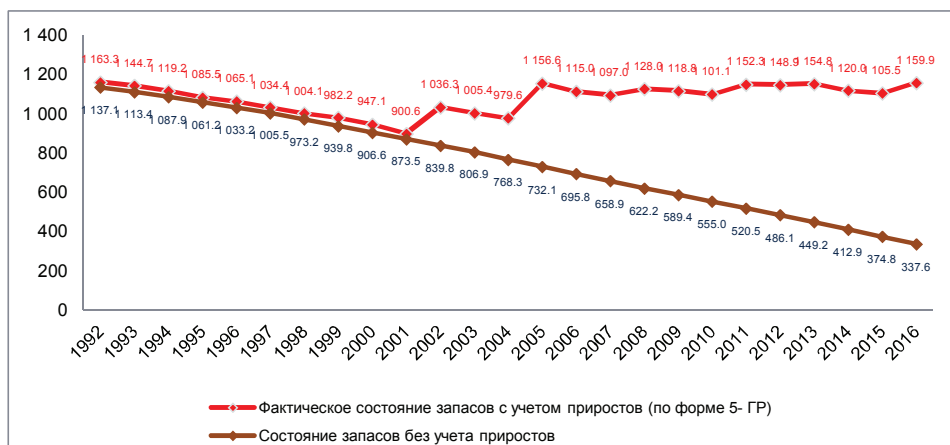


Рис. 3. Обеспеченность запасами Группы «АЛРОСА» (млн кар) с учетом воспроизводства МСБ в 1992-2016 гг.

В ГРК Компании в настоящее время осуществляется комплекс мероприятий, направленных на повышение эффективности ГРР. В свете стоящих перед ГРК задач и вызовов, сформулирована актуальная стратегия геологоразведочных работ, учитывающая изменения в спросе на продукцию Компании в условиях повышающихся капитальных и операционных издержек, обусловленных естественным истощением минерально-сырьевой базы и сокращением числа «легких» в обнаружении объектов алмазодобычи. Важным направлением в выработке данной стратегии явилось определение алмазоносного потенциала новых территорий и месторождений на основании геолого-экономической оценки поисковых объектов. В рамках стратегии ГРР подготовлена программа ГРР-2030 с разбивкой на средне- (до 2022 г.) и долгосрочную перспективу (до 2030 г.) к и детальные планы ГРР в 2018-2020 гг.

Повышение эффективности работы ГРК осуществляется, прежде всего, по следующим основным направлениям – штатно-структурные изменения, производственные процессы, персонал, основные средства, взаимодействие с дочерними и зависимыми обществами, государственными органами и партнерами Компании. Реализация данных предложений позволит оптимизировать сумму издержек Компании на проведение ГРР и повысить их эффективность.

Основными направлениями повышения эффективности собственно ГРР являются: точный и обоснованный выбор площадей поисков, обладающих наибольшими перспективами для открытия потенциально богатых месторождений, при этом следует рассматривать и степень их инфраструктурной обеспеченности; использование современных методик, методов, техники и технологий поисковых работ, при условии обеспечения высокого уровня их организации; качественное совершенствование проводимых работ, обеспечивающих наибольшую полноту изучения недр при минимальных затратах.



Рис. 4. Структура запасов Группы «АЛРОСА» в Российской Федерации.

Анализ сырьевой базы для алмазобрабатывающей отрасли Российской Федерации до 2030 года

Материалы данного раздела подготовлены на основании данных АК «АЛРОСА» (ПАО), с учетом опубликованных материалов ИПЦ «Минерал», ФГБУ ВИМС, ФГУП ЦНИГРИ.

Россия обладает крупнейшей в мире минерально-сырьевой базой алмазов: их разведанные запасы превышают 1,2 млрд кар – и остается мировым лидером по производству алмазов в весовом выражении. По объему и стоимости добытых алмазов страна занимала первую позицию в мире в 2015 г. (41 912,39 тыс. кар и 4 239,59 млн долл., соответственно). Прогнозные ресурсы алмазов на территории России очень велики, однако достоверность их невысока: в основном это ресурсы категории Р₃ (3 075,88 тыс. кар на 01.01.2016 г.) (табл. 1).

С 2012 г. Государственным балансом запасов месторождений на основании ТЭО, подготовленного в 80-х годах XX века, учитываются запасы двух уникальных месторождений коренных алмазов импактного происхождения Попигайского метеоритного кратера (Ударное и Скальное), в объеме 267,984 млрд кар. По своему качеству и размеру алмазы обоих месторождений относятся к техническим (менее 1,5 мм) и не представляют интереса для развития ювелирного сектора алмазно-бриллиантового комплекса России и Мира. Эти объекты на сегодня не имеют аналогов в мире среди промышленно значимых месторождений, хотя с предполагаемым ростом спроса на технические алмазы в течение предстоящих 20 лет не исключено появление экономического интереса к их разработке.

Таблица 1 Состояние минерально-сырьевой базы алмазов Российской Федерации на 01.01.2015 гг.

Прогнозные ресурсы	P1	P2	P3
Количество, тыс. кар	380 530	317 210	3 074 940
Запасы	A+B+C1		C2
Количество, тыс. кар	1 012 193,8		225 734,4
Изменение по отношению к запасам на 1.01.2012 г., %	-4,3		-2,2
Доля распределенного фонда, %	97,3		

Общий объем добычи алмазов в Российской Федерации в 2016 г. составил 40,322 млн. карат в соответствии с данными Кимберлийского процесса (2017), экспорт сырых алмазов составил 42,720 млн кар, при средней цене 102,84 долл./кар (табл. 2).

Государственным балансом запасов учтены месторождения, расположенные в 4 федеральных округах (рис. 5). Лидером по запасам (чуть менее 80%) выступает Республика Саха (Якутия) ДВФО, за которой следует Архангельская область СЗФО (20% запасов). В ПФО и СФО учитываются только россыпные месторождения алмазов, не считая импактных алмазов Попигайского метеоритного кратера.

Более 77% российских балансовых запасов и почти 88% ресурсов категории Р₁ заключено в недрах Республики Саха (Якутия), в Центрально-Сибирской и Лено-Анабарской алмазоносных субпровинциях. Здесь находятся все важнейшие месторождения алмазов России, в том числе самое крупное - Трубка Удачная. Среднее содержание алмазов в ее рудах составляет 2,05 кар/т. Здесь же разведаны трубки с уникальной алмазоносностью (Интернациональная, Мир, Ботуобинская, Айхал, Нюрбинская), не имеющие аналогов в Море по этому показателю, а также среднеалмазоносные (Юбилейная, Зарница Комсомольская), но с высоким качеством

ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ КОМПЛЕКС АЛРОСА И АНАЛИЗ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ДЛЯ АЛМАЗООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ДО 2030 ГОДА

алмазного сырья – до 195.7 \$ США (прейскурант Июль 2016). Руды трубки Интернациональная характеризуются уникальным средним содержанием алмазов – 9,37 кар/т и не имеют аналогов в Мире по этому показателю. Следует отметить и высокое качество алмазов, что обеспечивает товарную стоимость - до 1000\$ США и более с тонны руды (Прейскурант «Ноябрь», 2015).

Открытая добыча в России ведется на 8 коренных месторождениях, три из которых (трубки Архангельская, им. Карпинского-1, им. Гриба) расположены в Зимнебережном алмазоносном районе Архангельской области, а остальные пять (трубки Юбилейная, Комсомольская, Зарница, Нюрбинская и Ботуобинская) – в Республике Саха (Якутия). В середине 2014 г. открытая добыча на трубке Удачная была полностью прекращена, и с начала 2015 г. это месторождение стало обрабатываться подземным способом. Подземный рудник на трубке Удачная был введен в строй 27.06.2014. К началу 2015 г. подземный способ освоения коренных месторождений алмазов уже применялся на четырех трубках (Мир, Интернациональная, Айхал, Удачная), верхние горизонты которых ранее были отработаны карьером.

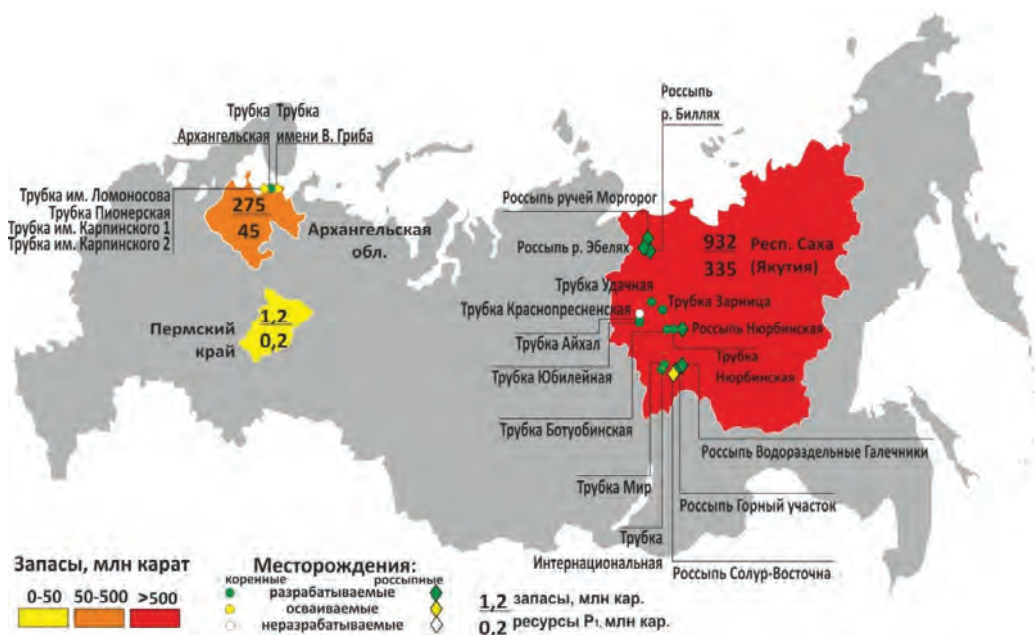


Рис. 5. Основные месторождения алмазов и распределение их запасов и прогнозных ресурсов категории P₁ по субъектам РФ, млн кар.

Таблица 2 Использование МСБ алмазов Российской Федерации в 2016 г.

Параметр	Значение
Добыча из недр, млн кар	40,322
Экспорт сырых алмазов, млн кар	42,720
Экспорт сырых алмазов, млн долл.	4 393,288
Средняя за 2015 г. экспортная цена сырых алмазов, долл./кар	102,84

По данным kimberleyprocessstatistics.org

Помимо коренных месторождений, на территории Республики Саха (Якутия) известны россыпи алмазов, крупнейшими из которых являются Нюрбинская (25,79 млн кар), связанная с одноименной кимберлитовой трубкой, и россыпь р. Эбелях (24,02 млн кар), расположенная на северо-западе Якутии. По запасам россыпи северо-востока Якутии составляют 42,159 млн кар и россыпи Накынского кимберлитового поля – 26,08 млн кар - не имеют аналогов среди известных россыпей мира, расположенных на суше. При этом пески Нюрбинской россыпи характеризуются высокими средними содержаниями – около 4,5 кар/м³.

На территории Архангельской области находится Зимнебережный алмазоносный район, в котором сосредоточено 22% балансовых запасов России, заключенных в шести кимберлитовых трубках месторождений имени М.В. Ломоносова (Архангельская, им. Карпинского-1, им. Карпинского-2, им. Ломоносова, Пионерская, Поморская) и имени В. Гриба. Средние содержания алмазов в кимберлитах этих месторождений относительно невысокие – от 0,09 до 1,25 кар/т. Ресурсы категории Р₃, локализованные на территории района, сравнительно невелики - 44,8 млн карат (около 12% российских ресурсов этой категории).

В россыпях Тиманской и Уральской алмазоносных областей заключено лишь 0,1% российских запасов алмазов, но камни, добывавшиеся в бассейне р. Вишера (Пермский край), по качеству являются лучшими в стране. Перспективы обнаружения здесь новых скоплений алмазов невелики, прогнозные ресурсы категории Р₁ субпровинции оценены всего в 0,2 млн кар (рис. 6).

В Восточной Сибири и на Дальнем Востоке выделен ряд площадей, перспективных на обнаружение россыпей алмазов. Однако перспективы их неопределенны, ресурсы в большинстве своем относятся к наименее достоверной категории Р₃.

Таким образом, подавляющая часть запасов и прогнозных ресурсов алмазов Российской Федерации находится в Республике Саха (Якутия) и Архангельской области, а самые качественные алмазы добываются в Пермском крае (табл. 3).



Рис. 6. Ресурсный потенциал категории Р₁ алмазоносных провинций РФ, млн кар.

Таблица 3. Сводная таблица апробированных прогнозных ресурсов алмазов по состоянию на 01.01.2016 г.

Федеральные округа, субъекты Федерации, распределенный фонд, нераспределенный фонд, объекты учета прогнозных ресурсов	Состояние природных ресурсов, млн кар.		
	P ₃	P ₂	P ₁
Центральный Ф.О.	310,0		
Брянская область	80,0		
Воронежская область	50,0		
Калужская область	80,0		
Липецкая область	50,0		
Тверская область	50,0		
Северо-Западный Ф.О.	1 087,0	60,0	44,8
Республика Карелия	175,0	40,0	
Республика Коми	70,0		
Ленинградская область	15,0		
Мурманская область	85,0		
Архангельская область	742,0	20,0	44,8
Приволжский Ф.О.	131,2	24,9	0,2
Республика Башкортостан	127,0	23,0	
Пермская область	4,2	1,9	0,2
Сибирский Ф.О.	617,0		
Красноярский край	100,0		
Эвенкийский АО	305,0		
Иркутская область	212,0		
Дальневосточный Ф.О.	930,7	315,0	334,5
Республика Саха (Якутия)	880,7	315,0	334,5
<i>Анабарский р.р.</i>	34,9	6,4	42,6
<i>Далдыно-Алакитский р.р.</i>	135,3	0,2	190,8
<i>Куонамский р.р.</i>	6,0	6,2	16,7
<i>Мало-Ботуобинский р.р.</i>	18,0	37,0	58,0
<i>Моркокинский р.р.</i>	12,4	0,3	0,2
<i>Муно-Тюнгский р.р.</i>	90,0	0,4	15,7
<i>Нижне-Оленекский р.р.</i>	102,6	3,1	0,0
<i>Приленский р.р.</i>	212,2	89,5	2,9
<i>Нижне-Ленский р.р.</i>	0,0	4,0	0,0
<i>Средне-Мархинский р.р.</i>	116,6	168,0	24,4
<i>БГыаттинский р.р.</i>	102,7	0,0	0,0
<i>Лено-Амгинский р.р.</i>	50,0	0,0	0,0
Приморский край	50,0		
Всего по РФ	3 125,9	399,9	379,5

Общие апробированные ресурсы алмазов по Республике Саха (Якутия) составляют 1 530,21 млн кар, в том числе по Якутской алмазоносной провинции (данные АК «АЛРОСА» (ПАО)) – 1 492,79 млн кар, из них 1 260,26 млн кар – по коренным и 232,53 млн кар по россыпным.

Компания АК «АЛРОСА» (ПАО) совместно с дочерними предприятиями проводит региональные исследования, нацеленные на обнаружение новых кимберлитовых полей в Муна-Тюнгском, Моркокинском, Ыгыаттинском, Приленском и Нижне-Оленекском алмазоносных районах Якутии. Более детальные поисковые работы, направленные на выявление новых кимберлитовых тел, проводились в зонах влияния горно-обогатительных комбинатов компании, в Далдыно-Алаkitском, Среднемархинском, Малоботуобинском, Анабарском алмазоносных районах.

Компания АО «Нижне-Ленское» за счет собственных средств вела поисковые и разведочные работы в Куонамском, Приленском, Анабарском и Приморском алмазоносных районах. По результатам поисково-оценочных работ на россыпи Большая Куонамка в Куонамском районе запасы и ресурсы алмазов категорий $C_1+C_2+P_1$ составили 6,907 млн кар (обеспеченность запасами 10 лет).

В Пермском крае на Мусихинском и Силурийском участках в Вишерском алмазоносном районе по результатам поисково-оценочных работ оценены ресурсы россыпных алмазов категории P_1 в количестве 0,071 млн кар, P_2 - 0,504 млн кар, P_3 - 0,228 млн кар (работы ЗАО «Уралалмаз»).

Запасы алмазов учтены Государственным балансом запасов в 67 месторождениях (23 коренных и 44 россыпных), в том числе для двух коренных и двух россыпных подсчитаны только забалансовые запасы (табл. 4).

В распределенном фонде недр числятся 44 объекта (18 коренных и 26 россыпных). По содержанию алмазов в рудах коренные месторождения нераспределенного фонда близки к осваиваемым и разрабатываемым объектам, а россыпные существенно им уступают. В нераспределенном фонде недр учитываются такие крупные объекты, как трубка Краснопресненская.

Компания АК «АЛРОСА» (ПАО) продолжает работы по переходу на подземную добычу и выводу действующих рудников на проектную производительность на ряде крупнейших коренных месторождений в Республике Саха (Якутия).

В 2016 году добычу алмазного сырья осуществляют предприятия Группы «АЛРОСА» на коренных и россыпных месторождениях (рис. 7), а также АО «Архангельскгеолдобыча» на месторождении трубка им. В.П. Гриба.

Обеспеченность предприятий Российской Федерации запасами по состоянию на начало 2016 года выглядит следующим образом: основная доля приходится на предприятия группы АЛРОСА (1 138,453 млн кар), из них добычу на россыпных месторождениях ведут АО «Алмазы Анабара» (с учетом объектов ОА «Нижне-Ленское») и частично ПАО «АЛРОСА-Нюрба» на россыпи Нюрбинская (рис. 8, табл. 5). В структуре запасов по степени геологической изученности и экономической значимости преобладает категории C_1 , забалансовые запасы составляют 4% (рис. 9).

МСБ алмазов России состоит из запасов коренных месторождений (в кимберлитах), россыпных и техногенных месторождений, а также прогнозных ресурсов. В структуре запасов преобладают коренные месторождения (91,6%), россыпи составляют 7,6%, а техногенные – менее 0,9% (рис. 10).

В Архангельской области продолжаются эксплуатационные разведочные работы на трубках им. Карпинского-1, Архангельская. Завершены работы по доразведке трубок Пионерская и Поморская (ПАО «Севералмаз»).

Компания АО «Архангельскгеолдобыча» в марте 2011 г. начала вскрышные работы на месторождении трубка имени В.П. Гриба. Месторождение будет обрабатываться комбинированным способом: на первом этапе - карьером

ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ КОМПЛЕКС АЛРОСА И АНАЛИЗ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ДЛЯ АЛМАЗООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ДО 2030 ГОДА

производительностью 4,5 млн т руды в год до 2027 года, а в дальнейшем (2028-2030 гг.) - подземным рудником мощностью 2,9 млн т руды в год. Годовая добыча алмазов составляет 3,458 млн кар, балансовые запасы составляют около 68 млн кар (по данным АК «АЛРОСА»).

Таблица 4. Основные объекты добычи алмазов в РФ и их параметры.

Недропользователь, территория, месторождение	Тип месторождения	Запасы, млн кар		Доля в балансовых запасах РФ, %	Содержание в рудах и песках
		A+B+C1	C2		
АК «АЛРОСА» (ПАО), Республика Саха (Якутия)					
Трубка Удачная	коренное	155,8	69	17,4	2,05 кар/т
Трубка Мир	коренное	143,8	3,3	11,4	4,44 кар/т
Трубка Юбилейная	коренное	160,3	6,7	12,9	0,9 кар/т
Трубка Интернациональная	коренное	43,1	12,7	4,3	9,37 кар/т
Трубка Айхал	коренное	29,3	10,2	3	5,68 кар/т
Трубка Зарница	коренное	25,2	26,6	4	0,18 кар/т
Водораздельные Галечники	россыпное	4,8	0,1	0,4	0,94 кар/куб.м
Горный участок	россыпное	2,4	0	0,2	0,47 кар/куб.м
Россыпь р. Эбелях	россыпное	23,8	1,28	1,9	1,47 кар/куб.м
АО «АЛРОСА-Нюрба», Республика Саха (Якутия)					
Трубка Нюрбинская	коренное	38,4	23,3	4,8	7,08 кар/т
Трубка Ботуобинская	коренное	77,58	15,4	7,2	6,8 кар/т
Нюрбинская россыпь	россыпное	12,99	12,8	2	4,46 кар/куб.м
АО «Алмазы Анабара», Республика Саха (Якутия)					
Россыпь руч. Моргогор	россыпное	2	0,03	0,2	0,75 кар/куб.м
Россыпь Солур-Восточная	россыпное	5,9	0,86	0,5	1,97 кар/куб.м
Россыпь р. Биллях	россыпное	2,5	0,52	0,2	1 кар/куб.м
ПАО «Севералмаз», Архангельская область					
Трубка Архангельская	коренное	57,34	0	4,4	0,9 кар/т
Трубка им. Ломоносова	коренное	47,88	4,34	4	0,43 кар/т
Трубка Пионерская	коренное	46,96	4,09	4	0,43 кар/т
Трубка им. Карпинского 1	коренное	30,99	0	2,4	1,2 кар/т
Трубка им. Карпинского 2	коренное	14	0	1	0,3 кар/т
ОА «Архангельскгеолдобыча», Архангельская область					
Трубка имени В. Гриба	коренное	70,58	14,6	6,6	1,245-2,0 кар/т
Нераспределенный фонд, Республика Саха (Якутия)					
Трубка Краснопресненская	коренное	26	0	2	1,32 кар/т



Рис. 7. Алмазодобывающие мощности Группы «АЛРОСА»

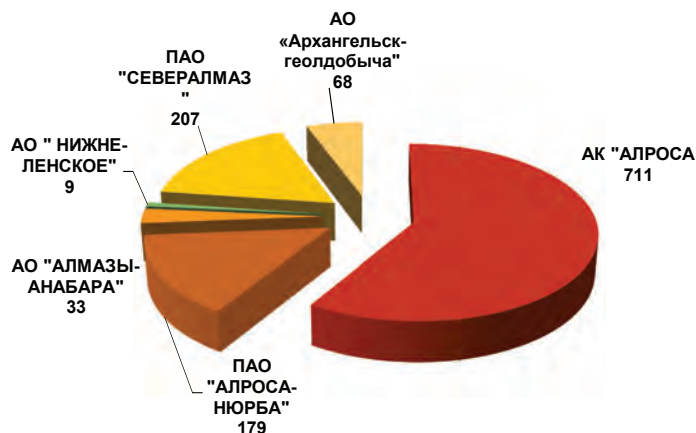


Рис. 8. Запасы алмазов по группе АК «АЛРОСА» и АО «Архангельскгеолдобыча» (тр. им. В. Гриба), млн кар.

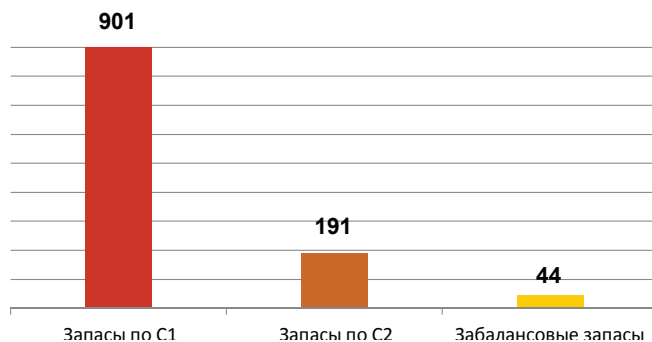


Рис. 9. Запасы по группе АК «АЛРОСА» по степени геологической изученности и экономической значимости, млн кар. Всего запасов: 1 138 млн кар, без учета балансовых запасов по тр. Им. В. Гриба в объеме 68 млн кар (нет информации по категориям запасов).

Таблица 5 Запасы на балансах предприятий алмазодобычи, млн кар

Недропользователь	Категория запасов, тыс. кар		
	C1	C2	Забалансовые
АК «АЛРОСА» (ПАО)	539,412	138,139	33,058
ПАО «АЛРОСА-Нюрба»	141,941	37,097	0
АО «Алмазы Анабара»	26 067	3,621	2,999
АО «Нижне-Ленское»	3,545	4,661	1,266
ПАО «СЕВЕРАЛМАЗ»	190,900	8,434	7,315
АО «Архангельскгеолдобыча»	68 000		

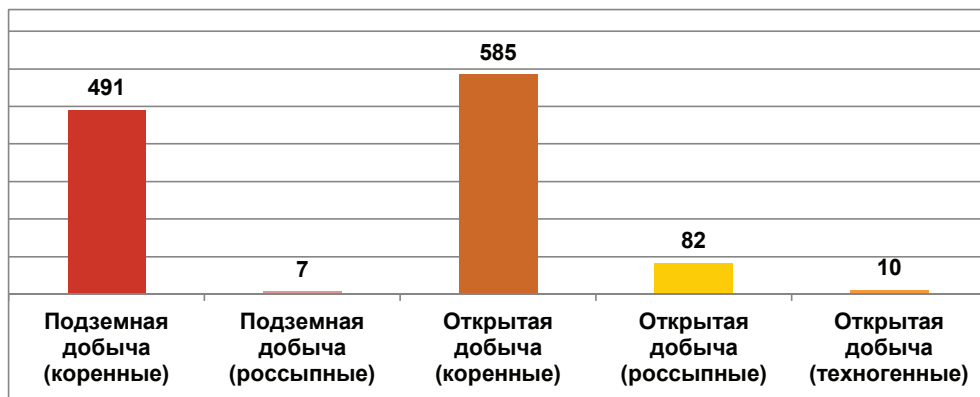


Рис. 10. Запасы по группе АК «АЛРОСА» и АО «Архангельскгеолдобыча» (тр. им. В.П. Гриба) по типу месторождений и способу добычи, без учета разведываемых, млн кар.

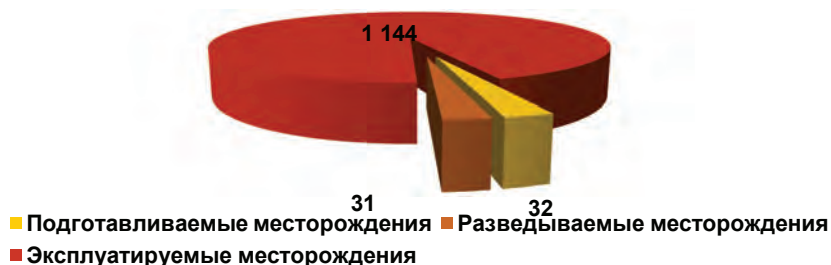


Рис. 11. Запасы по группе АК «АЛРОСА» и АО «Архангельскгеолдобыча» (тр. им. В.П. Гриба) по степени подготовки месторождений, млн кар

Запасы по степени подготовки месторождений к освоению распределены следующим образом: в эксплуатируемых месторождениях сосредоточено 94,7%, в разведываемых – 2,5% (рис. 11, 12).

Основной объем геологоразведочных работ на территории Республики Саха (Якутия) выполняла АК «АЛРОСА» и ее дочерние компании. По результатам эксплуатационной разведки Нюрбинской россыпи ее запасы увеличены почти десятикратно; запасы промышленных категорий А+В+С₁ и С₂ составляют 12,99 и 12,8 млн кар, соответственно. Продолжается разведка глубоких горизонтов трубки Интернациональная.

АО «Алмазы Анабара» владеет 13 лицензиями на право пользования участками недр с целью поисков, разведки и добычи алмазов. В эксплуатацию вовлечены 5 месторождений с разведанными запасами, в которых доля крупного месторождения Эбелях составляет 76%, в условиях погашения в ближайшие годы запасов разрабатываемых месторождений: Моргогор (2019 г.), Гусиный (2019 г.), россыпь руч. Олом/уч. Исток (2017 г.).

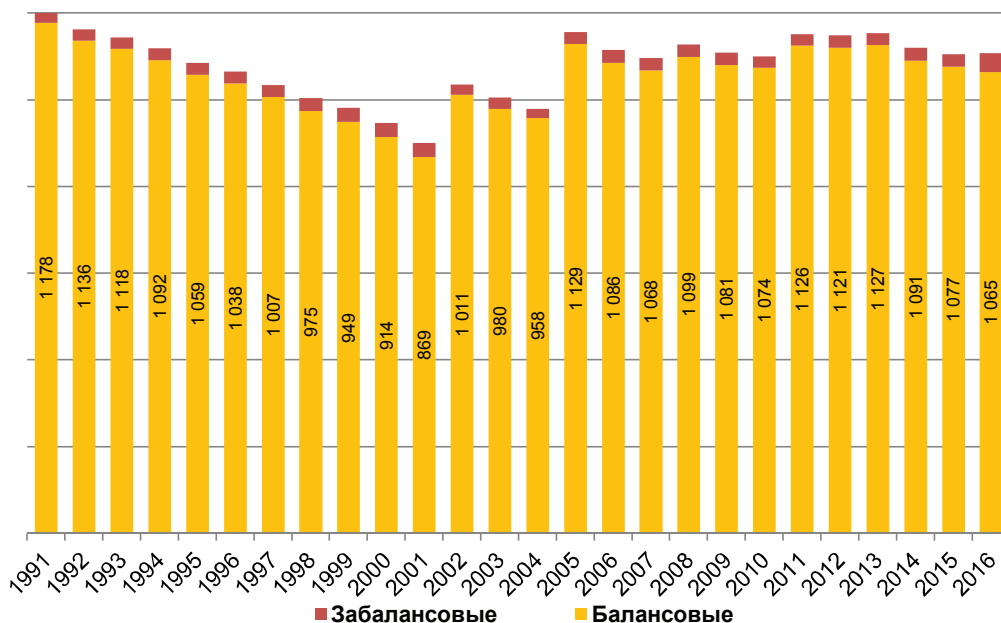


Рис. 12. Динамика движения запасов алмазов в 1991-2016 гг. В цифрах указаны только балансовые запасы, млн кар.

Подготовлена к эксплуатации трубка Ботуобинская и одноименная россыпь (ОА «АЛРОСА-Нюрба»). Введен в эксплуатацию карьер. Осваивается также россыпь р. Талахтах на СВ Якутии (АО «Алмазы Анабара»).

АО «Нижне-Ленское» владеет 6 лицензиями. В 2016 г. в добычу вовлечено 5 месторождений, в которых доля крупного месторождения Б. Куонамка составляет 56% и месторождение р. Молодо 26%, в условиях погашения в ближайшие годы запасов разрабатываемых месторождений: Россыпь р. Молодо (2016 г.), Притоки р. Биллях (2016 г.), Россыпь р. Талахтах (2018 г.).

В программу алмазодобычи АО «Алмазы Анабара» с 2020 г включены участки, требующие предварительной постановки поисково-оценочных и разведочных работ:

- 2020-21 гг. – Кумах-Юрях, Балаганнах, Кусун-Эбелях – поэтапная разведка 2018-2024 гг.;
- 2022 г. – Участок Малая Куонамка: завершение оценочных работ в 2018 г., поэтапная разведка 2018-2024 гг.
- 2024 г. – Участок Экитский: завершение оценочных работ в 2018 г., разведка 2018-2022 гг.
- 2024 г. – Участок недр «Средний р. Бол. Куонамка»: завершение поисково-оценочных работ в 2019 г., разведка 2020-2022 гг.

- 2024 г. – Участок Верхнеуджинский: завершение оценочных работ в 2020 г, разведка 2020-2023 гг.;
- 2024 г. – Участок Верховья р. Молодо с притоком р. Далдын: завершение поисково-оценочных работ в 2019 г., разведка 2020-2023 гг.

Учитывая, что все объекты перспективны и имеют апробированные в ЦНИГРИ ресурсы, перспективы прироста запасов реальны. По Экинской площади существует относительно высокая перспектива обнаружения коренного среднеалмазного объекта с потенциальными ресурсами более 60 млн. каратов.

Из недр в 2016 г. добыто 37,2 млн кар алмазов, при этом прирост запасов составил 58,7 млн кар (рис. 13, 14).

Обогащение российских алмазов осуществляется, главным образом, на фабриках горно-обогатительных комбинатов (Мирнинского, Айхальского, Удачинского и Нюрбинского), принадлежащих ПАО АК «АЛРОСА».

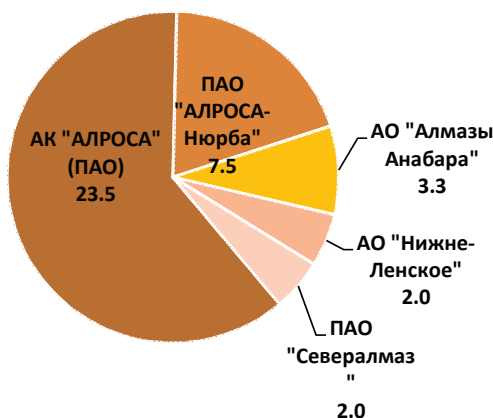


Рис. 13. Добыча алмазов предприятиями группы АЛРОСА в России в 2015 г., млн кар.

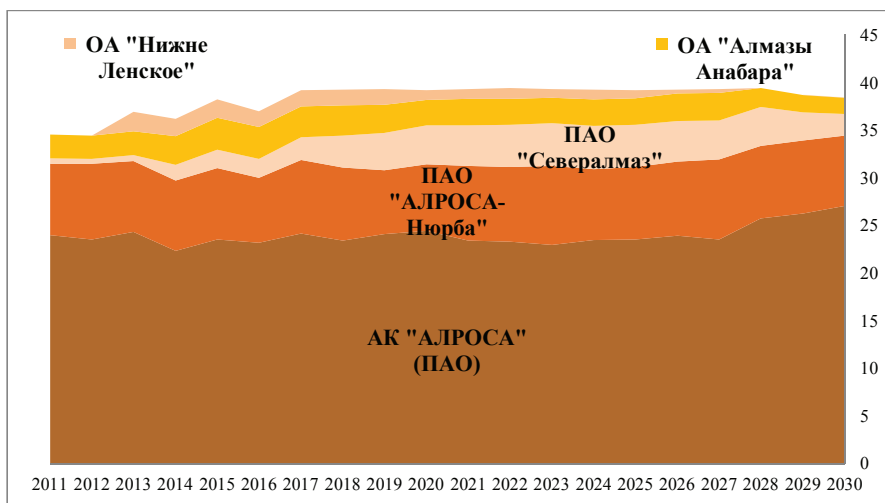


Рис. 14. Динамика добычи алмазов на предприятиях Группы «АЛРОСА» в 2011-2030 гг. в млн кар, без учета доли месторождения трубки им. В.П. Гриба.

На двух обогатительных фабриках Айхальского ГОКа перерабатываются руды трубок Айхал, Комсомольская и Юбилейная. Перспективы роста – подземный рудник «Айхал», повышение производительности карьера «Юбилейный», разработка кимберлитовой трубки «Заря». Разработка кимберлитовой трубки «Заря» гарантирует стабильный уровень дополнительной загрузки существующих мощностей Айхальского ГОКа на 13 лет и обеспечит поступление алмазов в суммарном объеме 3,6 млн карат за весь период отработки месторождения.

На фабрике Удачинского ГОКа извлекались алмазы из руд, добытых на трубках Удачная и Зарница. Перспективы роста - выход на проектную производительность подземного рудника «Удачный» 4,0 млн т/год в 2019 г., вовлечение в отработку прилегающих к карьере «Удачный» россыпей «Ручей Пироповый» и «Делювиальная» и трубки «Дальняя», разработка месторождения «Верхне-Мунское».

На Мирнинском ГОКе обогащались кимберлиты трубок Мир и Интернациональная, а также пески 3 аллювиальных месторождений: сезонная эксплуатация с апреля по ноябрь. Единственный ГОК АЛРОСА с дражным флотом. Потенциал роста – выход на проектную мощность ПР «Мир» и дальнейшее расширение ПР «Интернациональный».

Руды трубки Нюрбинская и пески одноименной россыпи обрабатывались на современных обогатительных фабриках Нюрбинского ГОКа. Потенциал роста – в эксплуатации карьера «Ботуобинский», перспективное увеличение проектной глубины карьера «Нюрбинский», освоение месторождения «Майское», перспективное вовлечение в отработку прилегающих россыпей Нюрбинская и Ботуобинская.

В Архангельской области компания ПАО «Севералмаз» обогащает руды трубки Архангельская на фабрике Ломоносовского ГОКа. Перспективы роста - расширение карьера «Архангельский», добыча на карьере «им. Карпинского-1», потенциальная разработка трубки «им. Карпинского-2».

АО «Алмазы Анабара» перерабатывает пески россыпей на современных обогатительных установках.

Прогноз алмазодобычи на период 2016-2030 гг.

На ближайшие 15 лет средний уровень добычи алмазов на коренных и россыпных месторождениях группы «АЛРОСА» за 15 летний период составит около 39 млн карат в год. Уровень добычи алмазов на россыпных месторождениях составит 14% от общего объема добычи алмазов в России, в абсолютном исчислении – около 5,5 млн. карат в год.

Объем добычи алмазов на месторождении им. В. Гриба составит около 3,5 млн кар ежегодно до 2027 года (по данным АК «АЛРОСА» (ПАО)).

Прогноз восполнения МСБ алмазов на период 2016-2030 гг.

Прирост ресурсов и запасов алмазов по группе «АЛРОСА» показан в табл. 6 и на рис. 15. Увеличение запасов алмазов в Российской Федерации в период 2016-2030 гг. ожидается за счет обнаружения новых месторождений алмаза предприятиями группы АЛРОСА.

В течение последнего десятилетия по результатам поисковых работ на территории России не было обнаружено новых крупных месторождений алмазов, сопоставимых с открытиями конца XX века - трубкой им. В.Гриба в Архангельской области, трубки Нюрбинская и Ботуобинская, в Средне-Мархинском алмазоносном районе Республике Саха (Якутия). В связи с этим нет оснований предполагать, что имевшийся ранее небольшой прирост запасов коренных месторождений алмазов в России сохранится и в будущем без дополнительных серьезных целенаправленных усилий. Вовлечение запасов алмазов в отработку в ближайшие 5-10 лет будет связано с развитием добычи на уже известных месторождениях Группы «АЛРОСА» (рис. 16).

**ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ КОМПЛЕКС АЛРОСА И АНАЛИЗ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ДЛЯ
АЛМАЗООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ДО 2030 ГОДА**

**Таблица 6 Показатели алмазодобычи, прироста ресурсов и запасов алмазов по
группе «АЛРОСА», млн кар.**

Показатель	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Итого
Алмазодобыча	37	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	39	40	38	38	590
Прирост запасов	59	50	5	9	17	48	13	53	43	61	41	36	42	4	26	508
Прирост ресурсов	56	69	124	231	214	240	151	160	229	79	50	62	48	3	37	1753

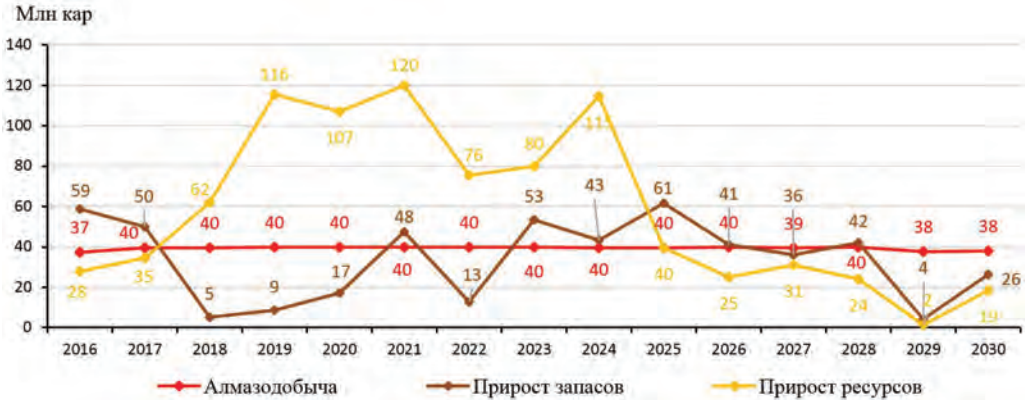


Рис. 15. Динамика добычи и прироста запасов алмазов предприятиями группы АЛРОСА в России в 2016-2030 гг., млн кар.



Рис. 16. Планируемые к отработке месторождения алмазов в Российской Федерации.

В то же время геологами ГРО «Катока» (32,8 % принадлежит АК «АЛРОСА») в 2013 г. в Анголе выявлено уникальное по ресурсному потенциалу (не менее 450 млн карат) месторождение Луаши, которое может восполнить наметившееся падение МСБ алмазов в Мире. В случае получения АК «АЛРОСА» акций нового горнодобывающего предприятия компания может сохранить высокий уровень алмазодобычи на высоком

уровне даже при отсутствии значимых открытий в России. Отметим, что разработка месторождений алмазов на зарубежных территориях могут стать важным фактором увеличения прибыльности АЛРОСА в период до 2030 года.

Следует обратить внимание, что категория P_3 прогнозных ресурсов в ряде случаев, является весьма субъективной, а оценки различных организаций могут отличаться в несколько раз. Данная ситуация осложняется тем, что в соответствии с требованиями МПР, для всех перспективных с точки зрения алмазоносности площадей эта категория ресурсов оценивается в обязательном порядке. Поэтому величины ресурсов площадей в ряде случаев могут быть далеки от реальности. Кроме того, ресурсы более высоких категорий (P_1 - P_2) нередко относятся к «неизвлекаемым». Все перечисленные факты необходимо в полной мере учитывать при прогнозировании развития МСБ алмазов до 2030 года.

Обеспеченность достигнутых уровней добычи запасами алмазов в целом является недостаточной для Республики Саха (Якутия). Для воспроизводства МСБ алмазов в России необходимо ежегодно открывать по одному среднему месторождению алмазов (20 млн карат) или один раз в 3-4 года по крупному месторождению алмазов (60-90 млн карат), сопоставимому с трубками им. В.П. Гриба или Ботуобинская.

В развитии минерально-сырьевого комплекса отмечаются следующие основные тенденции:

- повышение роли новых территорий в связи с истощением ресурсной базы в традиционных районах добычи алмазов на фоне истощения фонда легкооткрываемых месторождений;
- перемещение геологоразведочных работ в удаленные районы и районы со сложными горно-геологическими и климатическими условиями и слабо развитой инфраструктурой;
- увеличение глубин поисков и разработки месторождений полезных ископаемых;
- снижение качества руд вводимых в эксплуатацию месторождений и постепенное замещение выбывающих из эксплуатации месторождений богатых легкообогащаемых руд месторождениями бедных руд.
- Развитие минерально-сырьевой базы находится под влиянием следующих сдерживающих факторов:
- отсутствует отвечающая современным требованиям геолого-картографическая основа по ряду перспективных регионов России, что сдерживает проведение опережающих прогнозно-минералогических исследований и поисковых работ;
- существенно сократился резерв объектов, на которых возможно получение в ближайшие годы значительных приростов запасов алмазов, недропользователи фактически вынуждены за свои собственные средства выполнять геологоразведочные работы региональной стадии, которые должны выполняться за счёт государственного финансирования;
- действующая система государственного регулирования отношений недропользования не создает достаточных условий для привлечения инвестиций недропользователей в геологоразведочные работы. К примеру, имеющиеся объекты нераспределенного фонда недр (трубки Краснопресненская, Иреляхская, Малокуонапская и др.) на данной стадии относятся к высоко рисковым активам, в силу недостаточной информации о качестве (стоимости) алмазного сырья в них по данным ранее проведённых работ. Необходима система государственного стимулирования вложений инвестиций недропользователем в подобные рисковые активы, с возможной компенсацией (пусть хотя бы части) потерь, в случае отрицательного результата при их доразведке.

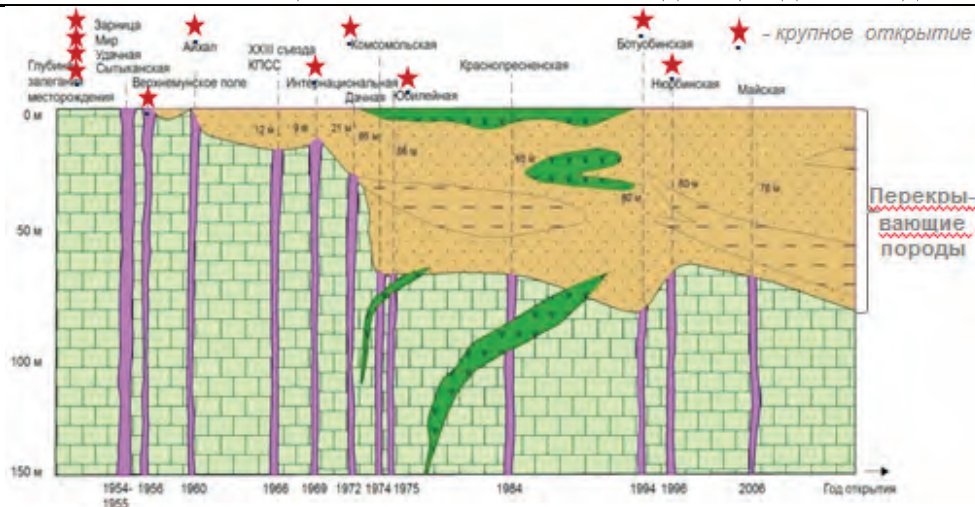


Рис. 17. Иллюстрация усложнения геологических обстановок при обнаружении новых коренных месторождений алмазов.

Отметим, что несмотря на усложнение геологических обстановок при проведении при проведении поисковых работ и снижения темпов открытий (рис. 17) перспективы обнаружения новых месторождений в Российской Федерации сохраняются.

Недоизученными остаются территории известных алмазоносных районов (Мало-Ботубинского, Средне-Мархинского, Далдыно-Алакитского и Мунского в Якутии, Зимнебережного на северо-западе страны). Требуют постановки дальнейших поисковых работ вопросы, связанные с отсутствием обнаруженных коренных источников россыпей алмазов в Приленском и Анабарском районах. Последние открытия геологов АК «АЛРОСА» (ПАО) предопределили дальнейшие перспективы Ыгыаттинского района в центральной части Якутской алмазоносной провинции. Можно констатировать, что прежнему существует поисковый потенциал в выделенных алмазоносных субпровинциях на западе (Центрально-Европейской, Ленинградской, Карело-Кольской, Тимано-Уральской) и востоке (Центрально-Сибирской, Лено-Анабарской, Тунгусской) страны. А значит – открытия нас ждут!



Гаранин Виктор Константинович (28.03.1946) - доктор геол.-мин. наук (2007), имеет ученое звание «профессор» по специальности минералогия, кристаллография с 2009 г. Известный российский ученый в области генезиса и поиска алмазных месторождений.

В 1965 г. поступил и в 1970 г. окончил Геологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова по специальности «геолог-геофизик». С 1972 г. по настоящее время работает на кафедре минералогии, в настоящее время – ведущий научный сотрудник. С 2010 по 2015 г. директор Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана Российской Академии наук, с 2016 г. научный руководитель музея.

10 ноября 2006 г. защитил докторскую диссертацию «Минералогия кимберлитов и родственных им пород алмазоносных провинций России в связи с их генезисом и поисками», являющуюся по оценкам специалистов крупнейшим вкладом в развитие минерально-сырьевой базы России. В 2009 г. получил ученое звание «профессор» по специальности минералогия, кристаллография.

В 1999 г. в составе коллектива ученых и производственников получил звание Лауреата Премии Правительства РФ в области науки и техники за разработку и освоение экологически безопасных технологий оценочных, геологоразведочных и добычных работ с использованием скважин большого диаметра в Архангельской алмазоносной провинции.

В 2004 г. Европейская академия естественных наук наградила Гаранина В.К. медалью им. Рентгена за выдающиеся научные достижения. В 2012 г. Европейской академией естественных наук награжден орденом «Рыцарский крест» за выдающийся вклад в науку и искусство. В 2006, 2011 и 2017 гг. становился лауреатом Фонда им. академика В.И. Смирнова в связи с выдающимся вкладом в развитие геологических наук. В 2013 г. награжден орденом «В.И. Вернадский» неправительственного экологического фонда и медалью им. А.Е. Ферсмана Российского Геологического общества за большой вклад в развитие геологии и экологии. В этом же 2013 г. получил диплом и премию им. А.Е. Ферсмана Президиума Академии наук России за выдающийся вклад в развитие минералогии и геохимии.

Член редколлегии журнала «Геология и разведка. Известия высших учебных заведений», двух ученых советов геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова: по минералогии и кристаллографии и по геологии и экономике полезных ископаемых, минерагении.

В Лаборатории месторождений алмаза Геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова под руководством В.К. Гаранина подготовлено 19 кандидатов наук, в числе которых 4 первооткрывателя месторождений алмазов, руководители и специалисты геологоразведочного комплекса АК «АЛРОСА» (ПАО).

В.К. Гаранин, К.В. Гаранин **ОСНОВНЫЕ ВЕХИ СОТРУДНИЧЕСТВА ГЕОЛОГИЧЕСКОГО** **ФАКУЛЬТЕТА МГУ ИМ.М.В. ЛОМОНОСОВА И КОМПАНИИ** **«АЛРОСА»**

Сотрудничество между МГУ им. М.В. Ломоносова и алмазодобывающей компанией «АЛРОСА» берет свое начало с конца 60-х – начала 70-х годов прошлого столетия. Наиболее известные факты, конечно связаны с выпускниками Геологического факультета, которые работали на ниве алмазной геологии. В начале сотрудничества их было немного, но среди них уже были известные имена.

В этом отношении добрым словом необходимо вспомнить Елену Владимировну Францессон, известного петрографа, геохимика, кандидата геолого-минералогических наук. Она окончила кафедру петрологии Геологического факультета, далее работала в Алмазной лаборатории ЦНИГРИ Мингео СССР в г. Мирном, а затем в известном институте ЦНИГРИ в Москве. И все это время занималась петрологией и геохимией

кимберлитовых пород. Еще на заре алмазописковых работ в Якутии она выпустила небольшую, но очень интересную книгу «Петрология кимберлитов» (1968 г.), которая была переведена на английский язык и была весьма популярной у специалистов-геологов, которые работали в алмазной тематике. Так вот, будучи уже в Москве, работая в ЦНИГРИ Мингео СССР после завершения трудовой деятельности в г. Мирном, она, конечно, не прерывала связи с Геологическим факультетом и была знакома с заведующим лабораторией терромагнитного анализа кафедры минералогии, кандидатом геолого-минералогических наук Леонардом Васильевичем Колесниковым, который проводил исследования магнитных свойств минералов из разных типов пород, был лидером в СССР по изучению ферримагнитных свойств природных минералов. Он собирал образцы горных пород и минералов из разных регионов, рудопроявлений и месторождений страны. И вполне логично, что Л.В. Колесников просил Елену Владимировну передать ему различные магнитные минералы из кимберлитовых тел для их изучения. К сожалению, в 1970 г. он трагически погиб.

Л.В. Колесников – первый руководитель курсовых работ Галины Петровны Кудрявцевой, в будущем известного ученого и минералога СССР и России. Требовательный, прежде всего, к себе, к работе, эрудированный, обаятельный человек с очень непростой судьбой. Он привил Галине Петровне навыки научного труда и творческих амбиций. После его смерти она, будучи еще аспиранткой, стала руководителем лаборатории терромагнитного анализа кафедры минералогии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова и уже в 1973 г., практически оставшись без научного руководителя, блестяще защитила кандидатскую диссертацию, обобщив материал по фазовому составу и магнитным свойствам ферришпинелидов Ковдорского массива (Кольский полуостров). Естественно, в процессе работы в лаборатории мы начали разбирать материалы и коллекции магнитных минералов Л.В. Колесникова и натолкнулись на небольшую коллекцию желваков магнитных минералов (магнетита, титаномагнетита, гематита и др.) из якутских трубок Мир и Удачная. При этом мы обратили внимание на то, что на некоторых пакетиках было написано «ферримагнитный ильменит», а рядом знак вопроса. С 1970 г. по 1972 г. я работал в другой организации, при этом активно трудился в свободное время в лаборатории Галины и помогал ей в исследованиях. В 1970 г. мы с ней поженились и с этого времени, по сути, все время работали вместе. В 1972 г. незабвенный Георгий Алексеевич Крутов, наш с Галиной учитель, профессор кафедры минералогии, предложил мне перейти на кафедру минералогии и работать вместе с Галиной, т.к. бегать из Геофизической экспедиции Министерства Нефтяной промышленности СССР в МГУ почти каждый день было уже трудно, да и работы в лаборатории терромагнитного анализа становилось все больше, и эта работа доставляла удовольствие. Я перешел на кафедру минералогии, и мы с Галиной начали задумываться, какими исследованиями магнитных минералов мне заняться. И здесь Галина вспомнила об этих пакетиках с ильменитом и предложила мне начать их изучение.

Так мы и начали наш путь в алмазной геологии. Я начал с изучения этих желваков, некоторые из которых действительно оказались ферримагнитным ильменитом, носителем магнитных свойств кимберлитовых пород Мало-Ботуобинского алмазоносного района. Это было новое явление и новое открытие, т.к. ферримагнитный ильменит был характерен только для трубок Мало-Ботуобинского алмазоносного района и объяснял факт слабых магнитных аномалий над кимберлитовыми телами. Спектр научных исследований расширился, мы начали изучать ильмениты из других типов пород, карбонатитов, траппов и прочих. Я уже начал готовить материалы для своей кандидатской диссертации, пошли первые научные работы и публикации. Свою кандидатскую диссертацию я защитил в 1978 г., и она была посвящена сравнительной характеристике ильменита из кимберлитов и карбонатитов. Мы поддерживали связи с

Е.В. Францесон и другими учеными ЦНИГРИ. В частности, очень хорошие отношения у нас были с Германом Сергеевичем Румянцевым, кандидатом геолого-минералогических наук, специалистом в области изучения физических свойств алмаза. Он, после аспирантуры на Геологическом факультете МГУ им. М.В. Ломоносова, работал в алмазном отделе ЦНИГРИ вместе Е.В. Францесон. Алмазный отдел ЦНИГРИ был достаточно сильный и авторитетный. Там же в ЦНИГРИ в этой лаборатории начинал работать Феликс Витольдович Каминский – ныне известный ученый, петролог, геохимик и минералог. Г.С. Румянцев дружил с Л.В. Колесниковым и часто бывал на кафедре минералогии. Вот собственно с чего начиналась алмазная эпопея на кафедре минералогии Геологического факультета.



Фото 1. Фотография начала 50-х годов. Прогулка в Подмоскowie. Галина Ивановна Бочарова – аспирантка, Георгий Алексеевич Крутов-доцент, заведующий кафедрой минералогии Н.А. Смолянинов.



Фото 2. На прогулке в Парке Измайлово. Середина 70-х годов. Георгий Алексеевич Крутов, Галина, я и наш сын Сергей.

По мере углубления и расширения исследований мы знакомились уже с другими корифеями алмазной геологии. И в первую очередь надо упомянуть известного геолога, специалиста высокого класса в алмазной геологии, доктора геолого-минералогических наук Алексея Демьяновича Харькива. В те 70-е годы он возглавлял Алмазную лабораторию ЦНИГРИ в г. Мирном в Якутии. И вот как-то он позвонил нам, будучи проездом в г. Москве. Это было в 1974 г., он пришел к нам в лабораторию, мы познакомились, решили начать сотрудничать, и с этого времени на постоянной основе вплоть до сегодняшнего времени мы продолжаем работать в алмазной геологии. Алексей Демьянович – душевный, очень трудолюбивый и интеллигентный человек. И его жена Тамара Васильевна – терапевт больницы в г. Мирном такого же плана – интеллигентная, открытая и гостеприимная женщина.

Уже на следующий год мы с Галиной Кудрявцевой прилетели в г. Мирный и познакомились с главным геологом Ботуобинской ГРЭ ПНО «Якуталмаз» Игорем Яковлевичем Богатых, лауреатом Государственной премии, полученной им за открытие алмазного месторождения – «трубки Юбилейная». Обаятельный с большим чувством юмора, опытный разведчик недр, высококлассный полевой геолог. Мало того, Игорь Яковлевич великолепно играл на гитаре и исполнял геологические песни своего сочинения. Он был очень известным человеком в Якутии. При этом, это был «бюрократ» высокого уровня, знал, как распорядиться той или иной бумагой, как лавировать, как принимать осторожные, но необходимые решения.

Там же мы познакомились с Джемсом Ильичом Саврасовым, геофизиком, специалистом в области магниторазведки и изучения магнетизма горных пород. Он был заведующим лабораторией в ЦНИГРИ, фанатично преданный своему делу специалист, при этом заядлый рыбак, выпивоха и душевный человек.



Фото 3. Легенды алмазной геологии (слева – направо): Академик А.А. Маракушев, профессор Г.А. Крутов, главный геолог ПО «Якуталмаз» А.И. Боткунов, Галина Петровна Кудрявцева – старший научный сотрудник, Г.И. Бочарова – доцент, заведующий алмазной лабораторией ЦНИГРИ в г. Мирном А.Д. Харькив. Начало 80-х годов, посещение карьеров в г. Мирном.

Следующий человек, с кем мы познакомились – это легендарный главный геолог тогдашнего еще легендарного ПНО «Якуталмаз» Анатолий Иванович Боткунов. Человек, который о месторождениях алмазов знал все, работал как машина, но по субботам любил расслабиться и как следует выпить. Что в нем импонировало – он живо интересовался наукой, был творческим человеком и постоянно занимался разработкой теоретических направлений в области генезиса алмаза. Для главного геолога горнорудного предприятия – это очень ценное качество.

И, наконец, Верменич Владимир Павлович, в то время заместитель директора проектного института «Якутниипроалмаз». Это был мощный сильный человек с большим чувством юмора, немного хулиганистый, задорный, живой, большой ценитель женской красоты.

С этими людьми нас объединяла дружба, любовь к геологии, чувство юмора и, не скрою, посиделки до утра. Сейчас их уже нет, люди были прекрасные, живые, открытые и фанатично преданные своему делу.

Становление

Конечно, спектр наших научных работ уже в середине 70-х годов прошлого столетия начал стремительно расширяться. Мы вплотную занимались поисковыми проектами. К этому времени у нас работала молодая и очень одаренная сотрудница – Людмила Тимофеевна Сошкина. Она занималась объектами Мирнинского кимберлитового поля в тесном контакте с сотрудником Алмазной лаборатории ЦНИГРИ Валентином Петровичем Афанасьевым, ныне доктором геолого-минералогических наук, известным в нашей стране и за рубежом специалистом в области поисковой алмазной минералогии. И сразу же были оформлены договора о научно-техническом сотрудничестве с Ботуобинской геологоразведочной экспедицией и с Алмазной лабораторией ЦНИГРИ о проведении научно-производственных работ, что позволило привлечь к нашим работам студентов и аспирантов МГУ.

Надо сказать, что в 70-80-е годы на Геологическом факультете был большой и сильный научно-исследовательский сектор. В нем на договорной основе с другими организациями работало порядка 1000 человек. Все кафедры факультета имели договорные работы, и факультет жил достаточно вольготно. На факультете был очень дружный коллектив, многие преподаватели были ветеранами в Великой Отечественную войны. Это были честные, открытые и порядочные люди. Деканами факультета в те годы были потрясающие ученые и люди – профессора А.А. Богданов, В.И. Кудрявцев, заместителями декана факультета доценты А.Я. Архипов и Б.Я. Журавлев. С ними у нас были прекрасные отношения. И Александр Яковлевич Архипов и Борис Яковлевич Журавлев помогали нам, чем могли, болели за нас, в хорошем смысле слова как заядлые болельщики. Уже к 1980 г. у нас был хороший творческий коллектив молодых сотрудников, порядка десяти человек, энергичных и талантливых. Людмила Тимофеевна блестяще защитила кандидатскую диссертацию в 1983 г. К сожалению, вскоре она с мужем Александром Сошкиным уехала в Монголию, лет через пять Людмила вернулась, у нее обнаружилась опухоль и в начале 90-х годов ее не стало. Она долго и мужественно боролась с этой болезнью. Так иногда бывает в жизни – дружная семья, две дочки, талантливый человек, надо жить и работать, а жизнь трагически обрывается.

Один из наших студентов – Виктор Бабенко после окончания кафедры минералогии поехал работать в Алмазную лабораторию в г. Мирный и через несколько лет, в 1988 г., также блестяще защитил кандидатскую диссертацию по совершенствованию шлихо-минералогического метода поисков месторождений алмаза. Это был первый ученик и первый диссертант Галины, в то время старшего научного сотрудника. Она была его научным руководителем, хотя, конечно, по сути, она уже была руководителем и у Л.Т. Сошкиной, хотя официально научным руководителем у

Людмила был Георгий Павлович Барсанов. Через нашу лабораторию постоянно проходил большой круг студентов и с других кафедр геохимического отделения, которые направлялись в поля в Якутию.

Особо необходимо отметить нашего молодого сотрудника Александра Николаевича Крота. Он окончил кафедру полезных ископаемых в 1980 г. и пришел работать к нам в лабораторию. Занимался минеральными включениями в гранатах из кимберлитовых трубок. Работа была очень трудоемкая. Прежде чем изучить включения, их надо было очень аккуратно вывести на поверхность, а это требовало большой квалификации. Саша был упертый парень, трудолюбивый и работа была отличной. Он защитил кандидатскую диссертацию в 1989 г., вскоре перешел на работу в ГЕОХИ, а затем уехал в США и теперь является известным ученым в области космической минералогии и петрологии. А жаль, ведь если бы он продолжал заниматься включениями в алмазе и его индикаторных минералах, то сейчас был бы известным специалистом в области минералогии и петрологии мантии.

Еще один выпускник кафедры минералогии – Махин Александр Иванович, будучи еще студентом, проявлял интерес к алмазам и по окончании Геологического факультета был распределен в Наро-Фоминск в экспедицию ВИМСа, затем переехал в г. Архангельск ПГО и устроился в ПГО «Архангельскгеология». Там он работал в экспедиции на новом месторождении алмаза им. М.В. Ломоносова, занимался изучением алмаза и готовил кандидатскую диссертацию под руководством известного алмазника З.В. Бартошинского. При этом многие научные работы Саша делал вместе с нами. По крайней мере, первые атласы морфологических особенностей алмаза из месторождения им. М.В. Ломоносова были выполнены нами при его участии, и они сопровождали отчет с подсчетом запасов по месторождению им. М.В. Ломоносова, выполненном в 1987 г. Он прекрасно защитил кандидатскую диссертацию в Львовском государственном университете в 1992 г. Последние лет десять работает в Анголе на алмазном месторождении Катока, также занимается изучением алмазов.

В середине 80-х годов мы уже достаточно активно занимались изучением, как самого алмаза, так и разнообразных включений в нем. Эти работы мы проводили на коллекциях из месторождений алмаза Якутии. Это, прежде всего, трубки Мир и Удачная. Здесь нам очень помогал главный геолог ПНО «Якуталмаз» Анатолий Иванович Боткунов и надо сказать, что его активная помощь помогла нам в том, что мы имели тогда коллекцию алмазоносных эклогитов из трубки Удачная к большой досаде академика Николая Владимировича Соболева, который считал, что именно ему актуальнее изучать алмазы с включениями. Конечно, это было «золотая жила», и он это прекрасно понимал и понимает до сих пор. Кроме того, мы активно занимались алмазом из Архангельской алмазоносной провинции (ААП). По существу, наиболее впечатляющие результаты по алмазу из тел ААП к тому времени были у нас, что позволило нам во многих книгах посвятить главы этому минералу. До настоящего времени мы публикуем новые книги, в которых большие главы посвящены именно новым данным по алмазу и включениям в нем. Сейчас готова к изданию новая книга - «Архангельские алмазы». В ней рассмотрены самые новые данные по исследованию алмаза с применением комплекса современных локальных методов исследования минерального вещества. Планируется, что выйдет книга в известном немецком издательском доме «Шпрингер» (Германия) на английском языке в следующем 2018 г., обязательно опубликуем данные материалы и у нас в стране.

Надо сказать, что уже с 1985 г. между Геологическим факультетом и ПНО «Якуталмаз» действовал договор о научно-техническом сотрудничестве, который затрагивал все сферы научной работы по алмазу и по минералам-спутникам. Кроме того, мы интенсивно проводили исследования магнитных свойств кимберлитов и ферримагнитных минералов в этих породах. Тогда уже у нас начало формироваться

понимание того, что алмазоносность тела определяется многими факторами и геологическими обстановками: алмазоносной мантией, метасоматозом мантийного материала, скоростью подъема кимберлитового расплава, условиями формирования диатрем. Все это существенно влияет на формирование конечной алмазоносности месторождения. По этой причине необходимо различать потенциальную алмазоносность и ту реальную, которую мы видим сегодня. Сейчас это уже признанный факт, а в 1985 г. подобный подход еще даже не просматривался.

Начиная с 1985 г. мы плотно сотрудничали с Гохраном СССР, главным хранилищем драгоценных камней и металлов, уникальных изделий и сокровищ нашей страны. В то время главным инженером этой организации был доктор химических наук, выпускник Химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, Лобанов Федор Иванович. А в ГОХРАНе была геммологическая лаборатория, которая занималась разработкой геммологических и минералогических технологий обработки драгоценных камней, контроля их качества и другими вопросами. При нем был подписан договор о сотрудничестве между нашим факультетом и лабораторией ГОХРАНа. К нам в аспирантуру поступила сотрудница этой лаборатории – Вера Петровна Кузнецова. Предметом ее изучения в нашей лаборатории была коллекция алмазов из трубок Мирнинского кимберлитового поля. При этом нам специально многие алмазы с включениями распилили на пластинки, вывели на поверхность включения размером до 0,1 мм. К этому времени сотрудниками кафедры электроники Физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова была создана приставка к сканирующему микроскопу для изучения цветной катодолюминесценции (ЦКЛ). И мы, пожалуй, впервые в Мирае, в 1987 г. получили серии картин ЦКЛ пластинок алмаза и увидели, что алмаз имеет сложное внутреннее строение. Это был наш большой успех. По крайней мере, это было получено впервые в России, да и за рубежом первые изображения ЦКЛ были опубликованы только в начале 90-х годов. Здесь необходимо отметить нашу некоторую ущербность по отношению к западной науке. Без всякого сомнения, в ту пору нам очень мешала закрытость нашей страны и плохое знание многими нашими учеными английского языка. Наши статьи были на русском, по этой причине многие наши достижения не доходили до научной общности западных стран.

Так вот, в кандидатской диссертации Веры Кузнецовой впервые было показано, что даже однородный с виду кристалл алмаза имеет сложное внутреннее строение. Также было показано, что среди включений в алмазе наиболее широко распространены включения «алмаза в алмазе». Следующие по распространенности из включений в алмазе – сульфидные включения, а затем уже оливин, гранат и т.д. Это прямое доказательство дискретности природного алмазообразования и наличия нескольких популяций алмаза в кимберлитах. Так был сделан новый шаг на пути изучения алмаза. Таким образом, тесная кооперация с ГОХРАНОм и НПО «Якуталмаз» преподнесла свои плоды. В 1989 г. В.П. Кузнецова успешно защитила кандидатскую диссертацию (научный руководитель Г.П. Барсанов), и в 1991 г. мы опубликовали нашу новую книгу «Включения в алмазе и алмазоносные породы». На тот момент это была очень хорошая монография, что отмечали многие алмазники России. Такой известный экспериментатор в области синтеза алмаза, как доктор геолого-минералогических наук Юрий Николаевич Пальянов как-то сказал мне, что эта книга долгое время для него была настольной. Такое всегда приятно слышать. В этой книге представлено многое, что было действительно новым на тот момент.

В 70-80-е года вся работа по алмазной тематике на факультете крутилась вокруг нашей лаборатории. Мы уже занимались глубинными мантийными породами, самими кимберлитами и родственными им породами, проводили исследования оптических и оптико-спектроскопических свойств минералов-спутников алмаза, изучали сам алмазы. Это, конечно, не могло не сказаться на нашем пребывании на кафедре минералогии.

Некоторые сотрудники и преподаватели кафедры с некоторой долей зависти относились к Галине и это не вызывало у нас удивление. У Галины был яркий талант, семья, лаборатория, все это некоторых женщин раздражало. Что характерно, это то, что наиболее больно нас пыталась ударить партийная ячейка кафедры минералогии, хотя здесь тоже было все понятно, т.к. в партийной ячейке кафедры минералогии женщин было больше. Какие только козни нам не делали, разбирая нас и наше поведение регулярно на заседаниях партийной ячейки по каждому сигналу, сплетням и даже подметным письмам. Это уже было начало 80-х годов. Но к этому времени мы уже были опытными бойцами, не обращали никакого внимания на эти маленькие укусы. Они нас только закаляли. Для нас важным было наше дело, а оно у нас развивалось успешно. Так, в эти годы мы технически вооружили нашу лабораторию. Это было нелегкое дело, но, тем не менее, нам удалось действительно создать хорошую лабораторную базу. Все началось с покупки для кафедры минералогии в 1965 г. первичного рентгеновского макроанализатора JРХ-3 фирмы «Джеол», Япония. Прекрасный, простой в управлении прибор, который служил нам верой и правдой 35 лет. А вот уже в 1985 г. в лаборатории появился новейший для того времени автоматизированный микроанализатор JXA-50А фирмы «JEOL» (Япония) с программным обеспечением и компьютером. Далее мы приобрели небольшой современный сканирующий микроскоп JSM-T20 этой же фирмы. Для нас были закуплены новейшие спектрофотометры в видимой, УФ- и ИК областях спектра. Приобретение приборов – это отдельная глава нашего развития. Надо отметить, к сожалению, что руководство факультета не очень поддерживало нас и практически все, что мы делали, было построено на голом энтузиазме. Но мы были настолько нацелены на перспективы наших исследований, это настолько нравилось, что нам никак не мешали эти трудности. Особо отмечу, что некоторые руководители среднего звена администрации факультета и ректората искренне нам помогали. У нас было много друзей в разных органах власти, и это нас окрыляло. Они искренне радовались, когда у нас что-то получалось, предупреждали нас об опасности и помогали, как могли. Взрослые люди, опытные руководители, известные ученые радовались как дети, когда мы им вручали наши очередные монографии. Хороших людей в советское время было действительно много.

И здесь особо хотелось сказать несколько теплых слов о великом Академике, главе советской школы рудников, заведующем кафедрой полезных ископаемых геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, Лауреате Ленинской Премии, Герое Социалистического труда Владимире Ивановиче Смирнове. О нем можно много говорить, мы его знали очень хорошо и не только как руководителя, но и как человека. Все дело в том, что Владимир Иванович Смирнов и Георгий Алексеевич Крутов были большими друзьями. На работу в МГУ им. М.В. Ломоносова Владимир Иванович пришел на должность профессора кафедры минералогии по приглашению Георгия Алексеевича Крутова, для чтения курса «Геология полезных ископаемых». И практически сразу же, в 1952 г. Владимир Иванович организывает кафедру полезных ископаемых и становится ее первым заведующим, и с тех пор и до конца своих дней он 37 лет руководил этой кафедрой, которая была научным центром учения о полезных ископаемых. Владимир Иванович пользовался неимоверным авторитетом и уважением. Это, конечно, была человеческая глыба «сталинского» типа. Талантливый человек от природы, организованный, четкий, цепкий, можно очень долго отмечать в нем и другие яркие черты. При этом, в определенной степени добродушный, внимательный и с большим чувством юмора. При нем кафедра работала как часы и имела большой авторитет не только в стране и за рубежом, и сегодня, к счастью, этот авторитет не растрочен. Студенты кафедры полезных ископаемых были всегда чуть «выше всех», они гордились, что учатся на этой кафедре. Кафедра была представлена очень сильным профессорско-преподавательским и инженерным составом. На кафедре были свои

традиции, ее специалисты всегда отмечали все весомые советские праздники и во главе стола всегда был Владимир Иванович.

Конечно, Владимиру Ивановичу надо посвятить не одну страницу повествований, но не здесь, а в рамках отдельной публикации, и мы это как-нибудь обязательно сделаем. Здесь же в этой статье отметим только главное, что касалось непосредственно нас. Еще когда Галина была студенткой, она познакомилась с Владимиром Ивановичем в лаборатории Л.В. Колесникова. Все дело в том, что два уважаемых профессора В.И. Смирнов и Г.А. Крутов любили совершать прогулки после работы. Ровно в 17.00 Владимир Иванович выходил из кабинета, заходил к Георгию Алексеевичу и далее через главный вход МГУ они направлялись на смотровую площадку Воробьевых гор, далее по ул. Косыгина выходили на площадь Гагарина и здесь прощались. Владимир Иванович жил в «академическом» доме на Ленинском проспекте, а Г.А. Крутов на автобусе возвращался в Московский университет в свою квартиру № 3 в зоне «Л». Георгий Алексеевич любил посидеть в компании и выкурить сигаретку, довольно часто он это дела в лаборатории Л.В. Колесникова. Оттуда Владимир Иванович его и брал на прогулку, и там состоялась первая историческая встреча Галины и Владимира Ивановича. Он сразу оценил все таланты Галины, любил ее и относился к ней по-отечески, любя. С первого раза он толи в шутку, толи в серьез называл ее подчеркнуто вежливо «Галина Петровна». Владимир Иванович следил за ее успехами, многие ее крупные работы прошли через руки Владимира Ивановича и были опубликованы в журналах, которые он курировал. Владимир Иванович дал стимул к работе Галины над докторской диссертацией. Как-то раз, он вызвал ее к себе в кабинет и прямо спросил, готовит ли она докторскую диссертацию. Конечно, она опешила, но виду не подала, «блефанула» и спокойно сказала, что диссертация практически готова. Владимир Иванович решил все-таки глянуть на диссертацию. Договорились, когда Галина придет к нему в кабинет с папкой. У Галины было всего два дня. И днем, и ночью она работала, собирала материалы, печатала оглавление, план. В середину диссертации положила отпечатки статей, написала введение и заключение, а также сформулировала защищаемые положения, зная, что Владимир Иванович именно на эти части работы будет обращать особое внимание. Конечно, она знала, что будет изложено в диссертации, какие материалы она положит в ее основу. Но, тем не менее, пришлось сильно напрячься и поработать. Встреча прошла в штатном режиме, Владимир Иванович все одобрил и дал ей три месяца сроку. А ведь надо было пройти предварительную защиту на кафедре! А там даже и представить не могли, что Галина выходит в скором времени на защиту докторской диссертации. Зачастили «ходоки» к Георгию Павловичу, но надо сказать он стойко выдержал это давление. Правда в день предзащиты он пытался отговорить Галину и снять работу с предварительной защиты, но Галина уже была полностью готова и предельно мобилизована. На предварительную защиту пришли коллеги из других институтов. Была Галина Николаевна Петрова, профессор, доктор наук, известный специалист в области магнитных свойств минералов и пород из института Физики Земли Академии наук СССР, лидер этого направления в СССР, Владимир Ильич Трухин, доктор наук, известный ученый Физического факультета МГУ и много других людей, крупных специалистов. Предварительная защита прошла «на ура», и Галина пошла к Владимиру Ивановичу за благословением. И вот 12 октября 1984 г. в аудитории 415 в этой легендарной и наполненной людьми аудитории Владимир Иванович открыл работу своего Ученого Совета. Конечно, не у всех специалистов диссертация вызвала восторг, и здесь надо прямо сказать, в основном, из-за молодости диссертанта и из-за того, что это была молодая, красивая и умная женщина. Это, к сожалению, у нас не любят. Тем и прекрасна была Галина защита от начала и до конца. На нее наступали, она прекрасно защищалась. Владимир Иванович несколько с иронией, и даже с некоторой издевкой, четко спрашивал, обязательно с остановкой на несколько

секунд, «у кого еще есть вопросы», поощряя аудиторию к тому, чтобы задавать вопросы. Но к концу работы Совета было совершенно очевидно, что перед аудиторией стоит доктор геолого-минералогических наук. Три раза в конце дискуссии Владимир Иванович четко и раздельно, явно наслаждаясь, задавал один и тот же вопрос: «кто еще хочет задать вопрос»? И когда было понятно, что ни у кого вопросов задавать нет желания, довольный Владимир Иванович с улыбкой сказал, присаживайтесь Галина Петровна, будем ждать результаты счетной комиссии. Все члены Ученого Совета выступили единогласно за присуждение Галины Петровны Кудрявцевой звания доктора геолого-минералогических наук по специальности минералогия, кристаллография. Это был триумф ее учителей, близких коллег, сотрудников лаборатории. В 34 года Галина стала доктором наук. Только две женщины за всю историю Геологического факультета в такие молодые годы становились докторами наук. Второй была Галина. Конечно, это сблизило Галину и Владимира Ивановича, тем более что довольно часто в узком кругу наши маститые ученые, академики В.И. Смирнов, Г.А. Тварлчелидзе, А.А. Щеглов, Н.П. Лаверов, А.А. Маракушев и другие собирались у Г.А. Крутова в его квартире, решали дела и обсуждали разные проблемы.

Мы были вхожи в этот круг, так как всегда были около Георгия Алексеевича. В принципе он относился к нам по-отечески с любовью и довольно часто называл нас «дети мои». Мы были очень привязаны друг к другу до конца его дней на этом свете.

Так вот, Владимир Иванович постоянно следил за нашими успехами, это мы чувствовали. Надо сказать, что Галина была для него непререкаемым специалистом по организации подарков для кого-нибудь. Если надо было достать конфеты, он обращался только к Галине и больше ник кому. Если он прожил бы еще лет пять хотя бы, то, несомненно, способствовал росту Галины в административном плане, но не судьба. Хотя Галина и так была в большом авторитете.



Фото 4. С академиком А.Д. Щегловым на Геологическом конгрессе в Китайской народной республике, Пекине в 1993 г.

Мне всегда приятно вспомнить о роли В.И. Смирнова в нашей жизни и развитии Лаборатории месторождений алмаза. А с учетом тематики этого сборника от имени всех наших друзей, товарищей и коллег геологов хотелось бы поблагодарить АК «АЛРОСА» (ПАО), за то, что своим решением в 2017 г. одному из крупных алмазов, добытых этой компанией, было присвоено имя – «Академик В.И. Смирнов». Это дань памяти великому человеку и ученому, внесшему свой вклад в развитие всей отечественной геологии.

Еще одна сторона нашей жизни была связана с доцентом нашей кафедры Галиной Ивановной Бочаровой. Всегда не перестаю удивляться, как в этой жизни все переплетено и скреплено тысячами незримых нитей. Да, Галина Ивановна – очень близкий нам человек, хотя поначалу не все было так просто и гладко. Галина Ивановна Бочарова родом из Курска, росла в большой простой рабочей семье. Училась только на отлично, была большим общественным деятелем в школе, небольшого роста, обаятельная, шустрая и веселая. Хотя ее жизнь в юности пришлось на войну, она пережила оккупацию, видела много страданий и горя. Окончила школу с золотой медалью и поступила учиться на кафедру минералогии Геологического факультета Московского университета. С детства любила красивые камни, минералогию знала блестяще. После окончания факультета с красным дипломом поступила в аспирантуру факультета, ее руководителем был Георгий Павлович Барсанов. Кандидатскую диссертацию она готовила по сульфидной минерализации рудопроявлений Кавказа на материалах экспедиции, научным руководителем которой был Владимир Иванович. Они были близки, часто Галина Ивановна принимала участие в прогулках профессоров Крутова и Смирнова. На кафедре полезных ископаемых она читала курс минералогии более тридцати лет. Студенты ее любили, читала лекции она превосходно. Конечно, Галина попала в ее поле зрения еще студенткой, и Галина Ивановна стала ее патронировать. Довольно часто у Георгия Алексеевича мы собирались вчетвером: Георгий Алексеевич, Галина Ивановна, Галина и я. Такие встречи нередко были приурочены к какому-либо формальному событию – празднику, какому-нибудь кафедральному событию или даже телевизионной трансляции футбольного матча. Конечно, наши отношения с Галиной Ивановной все более и более крепились. Особенно после ухода из жизни Георгия Алексеевича и Владимира Ивановича. Галина Ивановна жила в Москве, к сожалению, одна, а мы были как всегда рядом до конца ее жизни. Она очень любила наших сыновей, тепло относилась сотрудникам нашей лаборатории и особенно – ее молодым специалистам, аспирантам и студентам.

Не могу не отметить с большой теплотой наших друзей с кафедры минералогии. Это, конечно, Галину Николаевну Давыдову, многолетнего секретаря кафедры и Александра Анатольевича Ульянова, профессора, большого моего с Галиной друга. Замечательные люди, стержень кафедры минералогии. К сожалению, Галины Николаевны уже с нами нет. Но в моей памяти она всегда со мной.

Развитие

В конце 70-х начале 80-х годов начались геологические открытия, в том числе и новых месторождений алмаза в Архангельской области. Мы оказались одними из первых исследователей, связанных с их изучением. Там уже работал филиал Алмазной лаборатории ЦНИГРИ, но мы работали напрямую с ПГО «Архангельскгеология». На новых объектах этой организации уже работали гидрогеологи и инженеры геологи нашего факультета, поскольку уже к середине 80-х годов шла речь о новых месторождениях алмаза и новой алмазной провинции. Было открыто новое месторождение алмазов им. М.В. Ломоносова, и в 1987 г. был защищен «Отчет с подсчетом запасов» по этому месторождению. Конечно, к отчету готовились большие материалы по гидрологическому режиму, инженерным сооружениям и обустройству будущих карьеров. Работы было много, по этой причине в подборке материалов к отчету

принимали участие специалисты Геологического факультета МГУ. Наша лаборатория выполняла все работы, которые касались изучению алмаза и его минералов-спутников. С гордостью можно напомнить, что Галина и я были соавторами тома отчета, в котором были материалы по минералогии алмаза и его минералов-спутников. И, конечно, в договорах на выполнение научно-практических работ участвовали студенты, аспиранты, сотрудники и преподаватели нашей лаборатории, кафедры и факультета. Сейчас эта славная страница Геологического факультета уже забыта, да и многих сотрудников уже нет в живых, но, тем не менее, люди нашего факультета много сделали для освоения этой новой провинции и это надо помнить. Здесь с гордостью необходимо отметить, что мы и в настоящее время продолжаем исследования минералов и пород этой провинции в рамках договоров на выполнение научно-исследовательских работ с ПАО «Севералмаз» –предприятием группы «АЛРОСА», участвуем в поисках новых алмазных месторождений.

К середине 80-х годов, несомненно, у нас уже были неплохие успехи, о которых хорошо знали на факультете. Среди руководителей факультета, как ни странно, у нас сложились очень хорошие дружеские отношения с Валерием Ивановичем Сергеевым, сотрудником кафедры мерзлотоведения. Он был на факультете известный человек, председатель Профкома факультета, заместитель декана, секретарь Парткома факультета, таким образом обладателем высоких административных должностей. У него были прекрасные отношения с заведующим кафедрой мерзлотоведения, профессором Ершовым Эдуардом Дмитриевичем. И надо сказать, что Э.Д. Ершов и В.И. Сергеев нам сильно помогли. Когда Э.Д. Ершов стал секретарем Парткома МГУ им. М.В. Ломоносова, то на основе наших достижений попросил ректора МГУ академика А.А. Логунова создать на Геологическом факультете «Проблемную лабораторию месторождений алмаза», которая была создана на факультете в 1987 г. Это значительно помогло нам в дальнейшей работе, т.к. появилось шесть единиц в штате кафедры минералогии, которые непосредственно предназначались для выполнения работ по алмазной тематике. Как и прежде, в те годы нам помогали Георгий Павлович Барсанов и Георгий Алексеевич Крутов.

К концу 80-х годов наши связи с геологоразведочными экспедициями, проводившими работы в Архангельской области, упрочились, мы не только работали вместе с их сотрудниками, но и дружили и творчески развивались. Замечательные люди работали тогда на объектах Архангельской провинции. Это, прежде всего, генеральный директор ПГО «Архангельскгеология» Юрий Михайлович Россихин, главный геолог по твердым полезным ископаемым – Владимир Павлович Гриб, начальник экспедиции Иван Павлович Добейко, главный геолог экспедиции Владимир Васильевич Вержак, начальник геологического отдела экспедиции Елисей Михайлович Веричев и другие. Они – наши друзья и единомышленники. Сколько было разного рода встреч, посиделок, рыбалок и при этом проводилась большая интересная и творческая работа.

Мы привлекли к нашим научно-производственным работам на объектах Архангельской области студентов, там они собирали материал для своих курсовых и дипломных работ. Некоторые наши студенты после окончания учебы целенаправленно готовили себя к работе в геологоразведочных экспедициях, в том числе осуществляющих свою деятельность на территории Архангельской области. В частности, Игорь Ракитин после окончания кафедры полезных ископаемых был направлен на работу качестве геолога в 17-ю экспедицию Мингео СССР. Это была известная в геологической отрасли экспедиция, т.к. специализировалась на поиске урановых месторождений по заказу Министерства среднего машиностроения. Данное министерство занималось вопросами обеспечения страны стратегическим сырьем и ее экспедиции были всегда укомплектованы необходимыми людьми и техникой, зарплаты были высокие, при этом дисциплина и квалификация работников была высокой. Перед

данной экспедицией была поставлена задача поиска алмазных месторождений в Архангельской области. Проработав несколько лет в экспедиции, Игорь Ракитин уже начал подумывать о кандидатской диссертации, но не судьба, началась перестройка, экспедиция распалась, и он далее работал в разных частных геологических предприятиях в качестве экономиста, администратора, руководителя. Но его уже взрослые сыновья сейчас работают в геологии и весьма успешно. Думается, что и он готов продолжать свою работу.

В Лаборатории месторождений алмаза к концу 80-х годов уже были готовые молодые ученые для подготовки кандидатских диссертаций. Следующая кандидатская диссертация была подготовлена по хромшпинелидам из трубок ААП. Ее автор – аспирантка Галины Петровны Рейхания Исмудла Касимова из Азербайджана, училась на отлично на кафедре кристаллографии, и академик В.С. Урусов, заведующий кафедрой кристаллографии, попросил Галину взять ее в аспирантуру, прикрепив к нашей лаборатории. Мы ее приняли и определили ей тему по изучению хромшпинелидов из тел щелочно-ультраосновных пород, включая кимберлиты месторождений алмаза Архангельской провинции. Она превосходно ее защитила в 1991 г., а затем настало время создавать семью, и здесь тоже все было в порядке. У нее четверо детей, непростая, но прекрасная жизнь матери и дай бог ей здоровья.

В том же 1991 г. была с успехом защищена еще одна кандидатская диссертация по петрологии пород лампроитовой серии на Алданском щите. Отличился Иван Львович Махоткин. С его работы пошло наше тесное сотрудничество с отделом петрологии крупнейшего в стране института ИГЕМ АН СССР, который возглавлял академик Олег Алексеевич Богатиков. С ним мы до сих пор находимся в дружеских отношениях, хотя, к сожалению, видимся чрезвычайно редко. Лидером в этом отделе, несомненно, была Виктория Аббасовна Кононова, доктор геолого-минералогических наук, известный петролог. Сильная ее черта, наравне с большим талантом, это большая работоспособность. Мы с ней и ее сотрудниками много выполнили много интересных исследований за годы нашей совместной деятельности. А началось все с работы И.Л. Махоткина. Мы вместе с ним изучали хромшпинелиды из лампроитовых тел Алданского щита. И изучение минеральных систем из лампроитов закончилось написанием в 1992 г. авторским коллективом под руководством О.А. Богатикова коллективной монографии «Лампроиты» и ее издательстве Издательстве «Наука». В ней была наша большая статья, посвященная рудной минерализации в лампроитах Австралии, Испании и СССР. Это была первая книга в Море по лампроитам, и это было приятно, т.к. это был описан новый тип алмазоносных пород, который в промышленном масштабе представлен лампроитовыми месторождениями алмазов в Австралии, в том числе уникальным – трубкой Аргайл. Меня, конечно, всегда восхищала Виктория Аббасовна, но еще с большим уважением я стал к ней относиться, когда узнал, что она была женой Анатолия Ильича Гинзбурга, прекрасного человека и крупного минералога. Он был влюблен в минералы, Виктория Аббасовна подарила мне как-то его записку из больницы сотрудникам его отдела в ВИМСе. Эта записка была наполнена жадой жизни и любовью к минералам, как к живым материям. Прочитав записку, я был потрясен. К сожалению, после того как Виктория Аббасовна ушла на пенсию, мы потеряли с ней связь, но мы знаем, что она жива и слава богу здорова.

В 1991 г. на Ученом Совете по специальности минералогия, кристаллография также была защищена первая кандидатская диссертация, посвященная минералогии алмазных месторождений Китая (научный руководитель – профессор А.С. Марфунин) китайской аспиранткой Бао Янь Нань. С этого момента у нас постепенно стали налаживаться связи с китайскими учеными, специализирующимися в геологии месторождений алмаза.

Как мы хорошо знаем, в конце 80-х годов началась перестройка, и начало 90-х годов было не лучшим временем, в том числе и для геологов. Тем не менее, мы работали, да и в других организациях продолжались исследования кимберлитов и защиты диссертаций. Так с 1993 по 1995 г. были выпущены новые кандидатские диссертации по алмазной тематике. В их числе работы сотрудников ЦНИГРИ: О.Д. Захарченко, связанная с изучением алмазов Юго-Восточного Беломорья (1994), и сильная работа Сергея Михайловича Саблукова (1995), которая была посвящена вулканизму Зимнего Берега и проблемам алмазности этого региона.

В 1995 г. на базе Геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова был создан Геммологический центр, который и сейчас активно работает и достаточно хорошо известен в России и за рубежом. С его открытием связана интересная история. В конце 80-х и начале 90-х годов возникла идея создать геммологическую ассоциацию. Как сейчас помню, в нашей лаборатории собрались известные люди – профессор, первый президент Российской академии Естественных наук Д. Минеев, заведующий кафедрой геохимии и минералогии МГРИ, профессор Ю.П. Солодова, заместитель директора Института алмаза, доктор геол.-мин. наук Б.М. Зубарев и Галина Кудрявцева. Они решали вопрос о создании геммологической ассоциации. Этот вопрос был решен положительно с большим воодушевлением, а результатом обсуждения стало избрание Г.П. Кудрявцевой первым Президентом Геммологической ассоциации. Однако, на факультете это не вызвало восторга у декана факультета Бориса Александровича Соколова. Он об этом немедленно поставил в известность заведующего кафедрой минералогии А.С. Марфунина, передав ему все материалы по данной ассоциации. И у Арнольда Сергеевича возникла прекрасная мысль – создать Геммологический центр в МГУ, и в основу деятельности центра он положил материалы, полученные им от Б.А. Соколова. Декан его, конечно, поддержал, они сделали вид, что Г.П. Кудрявцеву это не касается, и центр в 1995 г. был создан. Научным руководителем центра стал А.С. Марфунин, а начальником центра – Юрий Борисович Шелементьев. Мы не обращали на это внимание и работали в прежнем режиме.

Настали новые времена после перестройки в новой России, и это вселяло новые надежды. Лаборатория продолжала активно работать, несмотря на то, что договорная работа постепенно сократилась, а большая часть сотрудников разбежалась по нашей необъятной Родине в поисках заработков и лучшей доли. Остались только шесть человек из штата лаборатории, и казалось, что все идет к закату. Но как выяснилось, этого не случилось, лаборатория продолжала активно работать, признаюсь, к нашему удивлению. Размышляя над тем, почему так произошло, можно заключить, что люди, которые остались – это были профессионалы своего дела и, кроме того, остались студенты и аспиранты, на которых и упала значительная часть работы лаборатории.

В самые трудные времена с 1996 по 2000 г. наша лаборатория продолжала работать активно, несмотря на все трудности, да и в других институтах по алмазной тематике также продолжались активные исследования. И все это вылилось в серию прекрасных защит кандидатских и докторских диссертаций.

Тесное сотрудничество нашей лаборатории и отдела петрологии ИГЕМА вылилось в 1996 г. защиту прекрасной кандидатской диссертации Константина Парсаданяна, молодого сотрудника ИГЕМА. Работа касалась петрологии ультрамафитов и базальтов Архангельской алмазносной провинции. Мы ему помогли с образцами и минералогическими исследованиями. Это была хорошая петрологическая и геохимическая работа. К сожалению, в дальнейшем Константин ушел из ИГЕМА зарабатывать деньги для семьи в частное издательство.

В 1997 г. была прекрасно защищена работа Андрея Викторовича Боброва, и он стал кандидатом геолого-минералогических наук. Научными руководителями его работы по изучению гранат-клинопироксеновых парагенезисов из кимберлитов Якутии

в связи с их генезисом были академик, профессор А.А. Маракушев и доктор геолого-минералогических наук Г.П. Кудрявцева.

Академик Алексей Александрович Маракушев к этому времени активно проводил свои исследования в области формирования алмазоносных пород, он был заведующим кафедрой петрологии Геологического факультета МГУ. Мы с ним плотно контактировали, тогда появились первые работы А.А. Маракушева по алмазной тематике, в том числе и в соавторстве с нами. И с того момента и до конца своих дней нас с ним связывала большая дружба. Оригинальные работы появились у него к этому времени с аспирантом Владимиром Таскаевым, которые касались научного изучения крупного проявления метаморфических алмазов Кумдыколь, обнаруженного А.А. Заячковским на Кокчетавской глыбе (Северный Казахстан). Также Алексей Александрович разрабатывал теоретические основы алмазной петрологии мантии Земли с группой своих учеников и, прежде всего, с А.В. Бобровым, ныне профессором кафедры петрологии, который студентом выполнял работы по алмазной петрологии и минералогии в нашей лаборатории, а затем был аспирантом на кафедре петрологии. Надо сказать, это был мощный заслон, при таких руководителях можно было и на докторскую замахнуться. Тем не менее, кандидатскую диссертацию Андрей Викторович защитил блестяще.

В 1998 г. была защищена очень хорошая докторская работы бывшего выпускника кафедры петрологии Геологического факультета МГУ Специуса Здислава Витольдовича. Она касалась мантийных ассоциаций в кимберлитах и петрологической модели алмазообразования. В те годы мы с ним тесно сотрудничали, особенно, когда он готовил свою кандидатскую диссертацию по коровым ксенолитам. По окончании кафедры петрологии З.В. Специус был определен в Алмазную лабораторию ЦНИГРИ в г. Мирном. Руководителем этой лаборатории тогда уже был Н.Н. Зинчук. До сегодняшнего дня З.В. Специус работает в НИГП в г. Мирном, и совсем недавно с коллегами из Иркутска он выпустил прекрасную книгу «Атлас коренных месторождений Якутии». В ней представлен большой фактический материал с великолепной иллюстрацией разнообразия кимберлитовых пород из месторождений алмаза и других кимберлитовых тел Якутии.

И вот наступает 2000 г., и мы выпускаем на защиту еще одну нашу ученицу, красивую и обаятельную Анжелику Валерьевну Бовкун.

Анжеликой Валерьевной была проделана огромная работа по изучению оксидной минерализации в кимберлитовых породах из трубок Архангельского региона и Якутии. Одаренная студентка увлекалась изучением алмаза еще в студенческие годы, руководителем у нее была Г.П. Кудрявцева. Поступила в аспирантуру, в начале 90-х годов вышла замуж, родила дочь и занявшись ее воспитанием на время прекратила научную деятельность. Затем, когда дочь подросла, вернулась в аспирантуру и занялась изучением рудных минералов из кимберлитов Якутии и Архангельской области.

Немного отступлю и вспомню добрым словом Олега Анатольевича Михайличенко, нашего сотрудника, много лет он был начальником алмазной партии в научно-исследовательском секторе факультета. Олег окончил кафедру полезных ископаемых, затем работал на стройках, зарабатывал на квартиру, был хорошим паркетчиком, прекрасно играл на гитаре и неплохо знал французский. Вообще Олег был весьма образованный человек с непростой биографией. Отец его был заместителем министра культуры, т.е. воспитывался он в интеллигентной семье, но сложности у него начались, когда он женился на девушке из простой семьи, медсестре. Его родители не приняли ее, и пошли житейские сложности.

Тем не менее, о геологии он не забывал, а Олега в начале 80-х гг. нам порекомендовала его сокурсница, которая нас хорошо знала. С момента поступления к нам на работу он занимался не только наукой, но и административной работой, был

начальником партии. Надо сказать, это был отличный начальник партии, хозяйственный, организованный, и при этом не забывал и о науке. Мы сразу определили ему научное направление – оксидная минерализация кимберлитов и родственных им пород. С ним мы не знали никаких забот. Присмотр за лабораторией, хозяйством, студентами. В лаборатории всегда был порядок. Он охотно ездил со студентами в поле, особенно часто в Архангельский регион. И на всякий случай у нас в холодильнике было что выпить и чем закусить, мы всегда ждали гостей и были им рады. Все было прекрасно, и его научная работа успешно продвигалась. Но вот наступила перестройка, и Олег кинулся в бизнес. Считаю, что это была его большая ошибка и трагедия. Поначалу все шло прекрасно, бизнес развивался, но к концу 90-х годов все рухнуло, и Олег подался в бега от долгов. И закончил жизнь далеко от столицы – в середине 2000-х умер от инфаркта в безвестности где-то в Забайкалье.

Через десятилетие, в конце 90-х годов эстафету от Олега Михайличенко по хозяйственным делам в лаборатории принял Константин Магомедович Цаликов. Он познакомился с нашим сыном Константином в Горном университете в Санкт-Петербурге, вместе начинали там учиться на одном потоке, подружились, затем переехали в Москву, Константин продолжал учиться, а Константин Магомедович пошел работать к брату в строительную компанию в Москве и об учебе естественно забыл. Но с нашим Константином они дружили и довольно часто встречались, поэтому Константин Магомедович был нам хорошо знаком и «вошел» в наш дом. Его мама жила в г. Иванове, а папа в Дагестане. Галина как-то сразу взяла в оборот Константина и всячески старалась ему в чем-то помочь. И в какой-то момент возникла мысль о том, чтобы принять его в штат лаборатории, чтобы он присматривал за хозяйством и был бы у нас условно в качестве начальника партии, как Олег Михайличенко. Надо сказать, нам Олега не хватало, мы занимались наукой, а вести хозяйственную деятельность было некому, и Костя нам в этом качестве очень импонировал. Потом мы полагали, что на стройках он пропадет, а парень он хороший. И мы предложили ему начать работу в нашей лаборатории. Костя стал у нас работать и практически сразу его на кафедре все полюбили. Парень он был безотказный, добрый, целый день был в лаборатории. У Галины сразу появилась идея о дальнейшем его обучении. В Санкт-Петербурге он отучился год, все документы о незаконченном обучении были в наличии и Галина, используя свои связи, помогла ему с зачислением на вечернее отделение геологоразведочного факультета в МГРИ, и он начал учиться. Успешно закончив обучение, получив диплом о высшем образовании он по вызову Игоря Шмакова попал на работу в известную канадскую геологоразведочную компанию, которая вела поисковые работы на алмазы в ДР Конго. С тех пор Костя Цаликов трудится в разных странах Африки и в настоящее время является серьезным специалистом по поиску и разведке не только месторождений алмазов, но и золота. Когда он бывает в Москве, всегда заходит в лабораторию, иногда бывает у нас в загородном доме, мы общаемся и держим связь постоянно. Вот так мы определили судьбу простого парня, который из прораба на стройке превратился в геолога-алмазника высшей классификации.

Возвратимся к нашему повествованию. Все материалы по рудной минерализации кимберлитов и родственных им пород были переданы Анжелике Валерьевне. И это касалось не только Якутии (чем занимался Олег), но и Архангельских трубок, а также зарубежных. Это был действительно огромный материал, и его надо было изучать, анализировать, делать выводы. Поначалу, конечно, Анжеле было трудно, спасло упорство и трудолюбие. Совершенно другая область – тонкая минералогия (не алмазы!) и тем не менее, она выполнила кандидатскую работу блестяще, и отлично защитила диссертацию в 2000 г., а далее осталась работать в лаборатории. В настоящее время она – старший научный сотрудник, авторитетный специалист в области минералогии

мантии, кимберлитов и родственных им пород, соавтор крупной монографии «Микрокристаллические оксиды из кимберлитов России» (2012).

Отдельно хотелось бы упомянуть и еще об одном направлении работы нашей лаборатории – это преподавательская деятельность. Университет тем и ценен, что в его стенах происходит агрегация науки и образования. Галина вообще была прирожденным оратором и преподавателем. Лекции ее были яркими и высокопрофессиональными. Студенты всегда знают, кто из преподавателей читает лекции от сердца, а кто по разнарядке. Галина не читала, она рассказывала увлеченно и со знанием дела. Это, конечно, подкупало, и студенты ее любили, ценили и уважали. И к началу 80-х годов к нам пришло ощущение, что нам надо опубликовать что-то более крупное, иное, чем статьи. Признаюсь, было немного страшно начать, делать первый шаг, но в то же время это было и абсолютно интересно. И мы решили этим заняться. В то время, с 1983 года мы для студентов-минералогов, кристаллографов мы читали курс «Физические методы исследования минералов». Наша лаборатория была хорошо оснащена новыми приборами, в том числе новейшими электронно-зондовыми микроскопами и микроанализаторами, и мы решили выпустить книгу «Применение электронно-зондовых приборов для исследования минерального вещества». Это была отдельная красивая эпопея. Мы по главам отдавали материалы Георгию Алексеевичу на проверку, встречаясь для этого у него на квартире. А он к нашему приходу готовил бутылку водки, бутылку шампанского и закуску, что-то мы по возможности приносили с собой.

В начале нашей беседы мы разбирали очередную главу в его кабинете, расшифровывали его заметки, а писал он «мелким бисером», да так, что часто сам невооруженным глазом не мог понять содержимое своих замечаний. Он использовал помимо очков еще и лупу, медленно водил по строкам и полям представленных материалов, часто приговаривая – «ни черта не поймешь, что здесь написано». И тем не менее, он со свойственной ему аккуратностью продолжал свое ознакомление и рецензирование, которое продолжалось обычно пару-тройку часов. Затем после завершения просмотра и обсуждения он произносил свою знаменитую фразу «ну а теперь дети мои пора и откушать», и мы переходили в большую гостиную комнату, садились за круглый стол, Галина к этому времени уже что-то накрывала на стол. Кушали, выпивали, обсуждали книгу, события, истории и т.д. Это все осталось в памяти, было прекрасно, по-домашнему уютно, и в высшей степени интеллигентно. Георгий Алексеевич был для нас учителем с большой буквы! Был, есть и будет всегда.

Новый век

2000-ый год для нас был особым годом. Мы наконец-то получили высокую награду. Это был еще один увлекательный детектив, можно даже сказать авантюрная история. А началось все с монографии «Архангельская алмазоносная провинция», которая стала первой крупной книгой об этой новой алмазоносной территории, мы были среди ее авторов и нам принадлежала идея написания этой книги. К моменту ее окончательного написания уже были готовы все материалы для того, чтобы выполнить эту крупную обобщающую работу. Когда книга была опубликована в конце 1999 г., было понятно, что это новое явление в алмазной геологии, и один из соавторов книги, авторитетный и маститый академик О.А. Богатиков зашел к директору ИГЕМА академику Николаю Павловичу Лаверову представить наш научный труд и обменяться мнениями о том, что, может быть, эту книгу подать на какую-нибудь академическую премию. Николай Павлович среагировал мгновенно и сказал, что надо подать материалы по новым технологиям поисков алмазов на получение премии от государства, объединив достижения производителей и науки в одном томе, одной книге, а Н.П. Лаверов поддержит работу и ее продвижение на премию. Вообще-то Н.П. Лаверов, как потом стало известно, думал о Государственной премии Российской Федерации, а мы полагали,

что речь идет о премии Правительства, потому что конкурс на ее получение был только что объявлен в газетах. И мы начали готовить материалы, а это было уже начало 2000-го года. В феврале заканчивалась приемка документов, а их требовалось очень много, да еще обязательно, для получения премии, должен был быть оценен экономический эффект. Мы с Галиной занялись подготовкой материалов, этот процесс нас увлек, все сделали быстро, и началась увлекательная история с борьбой за выход в финал. Было все: и туры, и отзывы, и доклады, и козни. Мы все прошли и, наконец, вышли на финальную стадию и оказались по рейтингу на 3 месте среди 48 претендентов на получение премии по разным направлениям науки и техники. Это была победа и фантастический успех! Отмечу, что мы до сих пор единственные на кафедре минералогии Геологического факультета, отмеченные этой высокой наградой, да и на факультете ее получали только единицы.

В 2000-ом г. произошло еще одно крупное событие. Президент АК «Атомредметзолото», председатель Наблюдательного совета АК «Севералмаз», крупный государственный и «красный» генерал Кротков Вячеслав Владимирович защитил кандидатскую диссертацию (по техническим наукам) на основе материалов по созданию технологии разведки месторождений алмаза в Архангельской области с применением бурения скважин большого диаметра. Мы его очень хорошо знали, эта работа была частью той технологии, которая была в основе материалов, поданных на получение премии Правительства, а сам В.В. Кротков был членом нашего авторского коллектива, который шел на соискание этой премии. Прекрасный человек, он неоднократно рассказывал нам о корифеях и создателях атомной промышленности в СССР. Он много знал о том времени и легендарных руководителях промышленности тех лет. Надо сказать, что на получении премии мы не успокоились и по происшествию некоторого времени выпустили новую книгу по материалам, которые были выдвинуты на премию Правительства. Книга «Новые технологии разведки алмазных месторождений» вышла в 2001 г. Хорошая книга, а предисловие к ней написал академик Николай Павлович Лаверов, и это уже навсегда сохранилось в истории освоения месторождений алмаза на севере Европейской части России.

С этой книги началась новая эра в нашей жизни на Геологическом факультете. Мы снова стали плотно взаимодействовать с геологами и специалистами Архангельска и Якутии, которые трудились уже в наследнице ПНО «Якуталмаз» - компании «АЛРОСА» Мы задумали сделать презентацию компании на научных чтениях имени академика Владимира Ивановича Смирнова. У нас были хорошие результаты работ по программам научно-исследовательских работ компании в Якутии и Архангельском регионе, мы хорошо знали многих геологов этой компании разных должностей, компания была одним из крупнейших горнорудных предприятий в России, да и в Мире. И с этой идеей мы с Галиной пришли к Виктору Ивановичу Старостину, который не просто нас поддержал, но и он сам загорелся этой идеей. Главное, что презентации докладов на чтениях и сборник статей, который должен был выйти в 2002 г. были посвящены 250-летию Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова и 50-летию кафедры геологии и геохимии полезных ископаемых геологического факультета МГУ. И такая презентация АК «АЛРОСА» была очень кстати. И мы приступили к осуществлению своего плана. Получилось у нас все очень даже неплохо. Научные чтения прошли на высоком уровне накануне дня рождения В.И. Смирнова – 31 января 2002 г. Подобралась очень сильная команда специалистов АК «АЛРОСА», готовая выступить на этих чтениях. Пять их докладов были основой презентации, пришло много народу в аудиторию 415 – коллеги, специалисты, преподаватели, научные сотрудники, аспиранты, студенты, аудитория была полна. Открывал презентацию В.П. Дюкарев, первый вице-президент, исполнительный директор компании. Конечно, его доклад был посвящен структуре и перспективам

развития компании, затем слово передали начальнику геологического отдела компании М.И. Лелюху, который сделал очень интересный доклад о геологической службе компании. Отдельное место занимали в этой презентации доклады генерального директора филиала компании в г. Архангельске - «АЛРОСА-Поморье» В.В. Вержака и главного геолога компании «Севералмаз» С.М. Безбородова. Успех был полный.

Последний доклад на чтениях делал В.В. Кротков. Он и Галина подготовили совместное выступление: презентацию новой книги «Новые технологии разведки алмазных месторождений». Выступал В.В. Кротков, и по этой причине Галина не выступала с докладом на юбилейных научных 13 чтений. Все еще у нас было впереди.

Это было начало «сытых 2000-2008 годов». Закончились необходимые реформы 90-х, экономика росла, цены на нефть и газ внезапно выросли, в результате и нам стало лучше жить. Пошли договора с «АЛРОСА-Поморье», НИГП «ЦНИГРИ», все было прекрасно, работы было много. Наступила новая эра и в наших достижениях, и связана она была прежде всего с защитами кандидатских диссертаций первооткрывателями алмазных месторождений в Архангельской алмазоносной провинции. Это было время успешных защит высококлассных специалистов-производственников, и какие это были имена – В.В. Вержак, Е.М. Веричев, Н.Н. Головин. Все они стояли у истоков создания алмазной промышленности в Архангельской области, и все они были нашими близкими друзьями, оставаясь ими до сих пор. В эти же времена были отличные защиты наших учеников – аспирантов и молодых специалистов.

В 2001 г. состоялась защита кандидатской диссертации Сергеевой Ольги Сергеевны, выпускницы кафедры минералогии Геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. После окончания университета она уехала к себе на родину в г. Архангельск и работала в ЗАО «Архангельскгеолразведка» в 90-е годы. Занималась оценкой перспектив на алмазоносность Онего-Двинской площади Архангельской алмазоносной провинции. В основном ее интересовали минералы-спутники алмаза. Поступила в заочную аспирантуру МГРИ и там подготовила работу «Оценка перспектив алмазоносности Онего-Двинской площади Архангельской алмазоносной провинции». Работа не была выдающейся, но мы ее поддержали. У нее была очень трудная жизнь в то время (маленький ребенок, трудности в семье, полуголодная жизнь), но она молодец, тянула лямку диссертации и сделала ее. Мы ей помогали и всячески поддерживали. К сожалению, в дальнейшем она исчезла из нашего поля зрения, но надеемся, что у нее все в порядке.

Архангелогородцы и якутяне

Итак, новый этап развития Проблемной лаборатории месторождений алмаза был связан с подготовкой кандидатских диссертаций заслуженных геологов производственников. И первым из них был Владимир Васильевич Вержак, в то время директор геологоразведочной экспедиции – филиала АК «АЛРОСА» в г. Архангельске – «АЛРОСА-Поморье». Свой производственный путь он начал с должности геолога Геологического отдела Ботубинской ГРЭ, достигнув в последствии высокого ранга руководителя геологической экспедиции. Все это происходило на наших глазах и в определенной степени с нашим участием. Когда в 1999 г. В.В. Вержака назначили директором «АЛРОСА-Поморье», он пришел к нам и предложил продолжить изучение Архангельского региона, принять участие в поисковых работах на этой территории. В середине 90-х годов прошлого столетия наши работы по изучению Архангельской провинции в целом прервались, не с кем было работать в г. Архангельске, не было финансирования, все менялось, stagnировало. А после дефолта 1998 г. ситуация постепенно изменилась, АК «АЛРОСА» начала активные поиски месторождений алмаза в этом регионе. Мы с воодушевлением активно включились в работу. На одной встрече, в процессе выполнения нами научно-исследовательских работ, мы с В.В. Вержаком

обсудили возможность защиты его кандидатской диссертации. Здесь надо вернуться на 10 лет назад – к началу 90-х годов. В.В. Вержака в то время занимался геологоразведочными работами в Алжире. Мы перед его отъездом в эту страну прилетели в г. Архангельск, выехали на природу (Володя, его жена Валентина, я и Галина), оставшись на пару дней на берегу живописного озера. Рыбачили и отмечали отъезд Володи. Он улетал в Алжир вместе с семьей. Разговор у костра коснулся итогов нашей работы на тот момент в Архангельском регионе. Мы все были довольны, все было в нашей жизни более-менее хорошо, но осталась проблема – отсутствие ученой степени у Владимира Васильевича. И мы поклялись, что она будет, и вот спустя 10 лет мы к этому вопросу вернулись. Быстро набросали тему, план, сроки его выполнения и начали работать. Работа В. Вержака была очень интересной. Она касалась разведки, алмазности и вещественного состава кимберлитовых тел месторождения им. М.В. Ломоносова. У Володи были все материалы, он начинал здесь главным геологом экспедиции, входящей в структуру ПГО «Архангельскгеология», прошел все стадии разведки этого месторождения, готовил и защищал с соавторами «Отчет с подсчетом запасов» по этому месторождению. Ему, как говорится, и карты в руки. Научным руководителем естественно была Галина. Защита состоялась на Ученом Совете Виктора Ивановича Старостина в МГУ в 2001 г., она прошла блестяще, после был запоминающийся банкет на кафедре геологии и геохимии полезных ископаемых с подачей огромной семги. Все было прекрасно, и мы были довольны.

Тогда у нас установились самые теплые дружеские отношения с кафедрой полезных ископаемых. И в первую очередь заведующим кафедрой – профессором Виктором Ивановичем Старостиным и ведущим научным сотрудником Николаем Николаевичем Шатагиным. Они – талантливы, доброжелательны, трудяги в самом хорошем смысле этого слова.

Ранее, в 80-х годах на кафедре учился толковый и способный студент Димитрий Викторович Варламов. Его учителем и руководителем был Николай Николаевич Шатагин, и он привил парню любовь к геологии, прикладной математике и компьютерам. Дима очень быстро как-то прибил к нашей лаборатории и достаточно активно работал по нашим алмазным темам. Он очень много нам помогал в самых разных направлениях: созданием программных продуктов на компьютерах, анализом минералов на электронно-зондовых приборах, и мы довольно быстро определили ему тему кандидатской диссертации. Тема была интересна и касалась она минералогии и генезиса гранатов с включениями из магматических и метаморфических пород объектов Кольского полуострова. Много было сделано, результаты были получены хорошие, и можно было спокойно сделать работу. Но в характере Димы была некая мальчишеская увлеченность новыми проектами. Как только он загорался новыми проектами и идеями из них, то забывал о старых и, к сожалению, достаточно быстро. К концу аспирантуры он был определен на работу в Институт экспериментальной минералогии РАН в Черногловке к Л.Л. Перчуку, очень известному петрологу. Дима начал активно работать в институте и благополучно забыл о диссертации. Тем не менее, он всегда нам помогал, всегда на связи и сейчас занимается очень интересными направлениями в сфере построения банков данных по минералогии, обработкой результатов изучения кристаллических структур минералов, сайтом института и другими многочисленными темами. С удовлетворением можно отметить, что Дима нашел себя в институте, нашел свою нишу и работает с большим удовольствием. И при этом всегда готов помочь нам выполнить новое исследование или написать новую статью.



Фото 5. Генеральный директор компании «Алроса-Поморье» В.В. Вержак в кабинете. Справа от него В.К. Гаранин.

Говоря о кафедре геологии и геохимии полезных ископаемых хочу отметить Алексея Алексеевича Бурмистрова – нашего большого друга и постоянного партнера по совместным научным работам. Он очень сильный специалист в области исследований карбонатитов и петрофизических свойств пород и минералов, при этом удивительно скромный человек. У него хорошая лаборатория, во многом созданная его руками, он много работает, результаты его исследований представлены в нескольких крупных монографиях. Мы давно друг друга знаем, и он достаточно активно работает вместе с нами по алмазной тематике. Кроме того, к своим работам он постоянно привлекает студентов, помогая им выполнять курсовые и дипломные работы по геологии алмазных месторождений.

Хочется сказать, что мы постоянно сотрудничаем с нашими коллегами с кафедры геологии и геохимии полезных ископаемых в течение последних десятилетий и уверены, что это сотрудничество будет продолжаться и дальше.

Подчеркну, что особые отношения у сложились с заведующим кафедрой Виктором Ивановичем Старостиным. Они стали теплыми и дружественными, еще когда мы были молодыми специалистами. Галина и Виктор Иванович имели совместные публикации, по некоторым направлениям мы тесно сотрудничали. Особые отношения у нас установились с В.И. Старостиным после смерти академика Владимира Ивановича Смирнова, когда В.И. Старостин стал заведующий кафедрой и председателем Ученого совета по защита диссертаций в области поиска месторождений полезных ископаемых, металлогении и петрологии. Галину он пригласил в состав Совета. В последующем и я стал членом Совета, после моей защиты докторской диссертации. Виктор Иванович всегда по-доброму относился к нам, поддерживал в самые трудные для нас времена. Сейчас мы достаточно часто с ним пересекаемся в МГУ, я стараюсь заходить к нему в кабинет всегда, когда бываю на кафедре минералогии, мы общаемся, обсуждаем разные вопросы, пьем чай, наслаждаемся беседой. Думаю, что нам обоим все это доставляет удовольствие.



Фото 6. Ведущие алмазники-минералоги России, доктора геолого-минералогических наук Анатолий Яковлевич Ротман, Виктор Константинович Гаранин, Валентин Петрович Афанасьев.

Весной 2002 г. степень доктора геолого-минералогических наук присвоили нашему большому другу – Анатолию Яковлевичу Ротману. Его я помню еще молодым, симпатичным парнем, осторожным, спокойным, всегда с немного стеснительной улыбкой. В НИГП АК «АЛРОСА» он занимался вопросами петрологии и минералогии мантийных и коровых пород. В 2000-х годах он уже был заведующим минералогическим отделом НИГП, всегда держал руку на пульсе новых достижений. Много сделал для оснащения НИГП новыми современными приборами, был соратником директора предприятия – Николая Николаевича Зинчука, активно ездил на совещания и конференции. Толя был домашним человеком, очень любил свою жену Ольгу, дочерей, звал их доченьками, дочурками. И вот в 2001 г. неожиданно для всех он выходит на защиту докторской диссертации с работой, посвященной субщелочным базитам Сибирской платформы. Это было очень интересная и необходимая работа. Мы много внимания уделяем мантийным и коровым породам, кимберлитам, но базиты в Якутии сопровождают кимберлитовый магматизм и в этом отношении они также несут полезную информацию, это несомненно полезное направление в алмазной геологии.

Толя тщательно скрывал, что он делает именно эту работу, шифровался, молчал. Защищал работу в Новосибирске в институте геологии, геофизики и минералогии СО РАН в декабре 2001 г. Несколько лет тому назад он ушел из жизни, тяжело болел, лечился, все также нам не рассказывал. Жаль, еще мог бы пожить, планы были большие, переехать в Москву, построить дом и т.д.

Перейдем к следующей защите архангелогородцев. Понимая, что месторождение им. М.В. Ломоносова достаточно изучено, мы активно приступили к осуществлению следующего нашего плана – подготовки защиты диссертации Елисеем Михайловичем Веричевым, первооткрывателем месторождений алмазов им. М.В. Ломоносова и В. Гриба. Здесь надо отметить, что и силлы р. Мела, обнаружение которых предопределило резкую активизацию поисков кимберлитов в Архангельской провинции, были открыты

Е.М. Веричевым и А.Ф. Станковским во время проведения полевых работ в районе этой реки еще в начале 80-х годов прошлого столетия. При этом, трубка им. В. Гриба – крупное месторождение алмазов, сравнимое по запасам (100 млн. карат) с известными месторождениями Якутии. Елисей Михайлович открывал это месторождение, разведывал, участвовал в защите запасов. Понятно, что это его стезя и это его лебединая песня. Но к защитам он относился отрицательно, а нам очень хотелось это сделать. И мы приступили к осаде Елисея с двух сторон, с нашей и со стороны его супруги Валентины Николаевны. Действовали мы так – били в одну точку. Спрашивали – почему Владимир Вержак может, а ты Елисей Михайлович не можешь. Это его напрягало и, в конце концов, он сдался, и пошла работа, увлекательная и интересная. Научным руководителем была Галина, которую он всегда уважительно называл «Петровна», и мы вместе с ней помогали ему с подготовкой диссертации. Елисей Михайлович практик и производственник, и его надо было «обнаучить». Этим я занимался плотно и с интересом. Елисей Михайлович был и есть личность, у него на все было свое мнение. К науке он относился несколько скептически, но когда мы с ним работали, он терпел наши пожелания и рекомендации, хотя было видно, что это давалось ему непросто. Помню, как тяжело ему давались химико-генетические классификации минералов-спутников алмаза. При подготовке автореферата и в окончательном виде диссертации, они с Валентиной на неделю приехали к нам в деревню Бурцево, и каждый день мы с ним занимались работой. Где-то на второй день он пробурчал «а я и не знал, что так тяжело заниматься наукой». Все эти дни мы «мучили» его, но вечером он неизменно говорил свои знаменитые слова «Валюша, по соточке» и пребывал в благостном настроении. Защищал Елисей Михайлович свою кандидатскую диссертацию на Совете у нашего замечательного Виктора Ивановича Старостина. Конечно, при защите он волновался, для храбрости перед защитой выпил пару рюмок коньяку. Этот допинг ему помог, практически всю защиту он выдержал и выстоял, сделав интересный и емкий доклад, было видно, что он абсолютно владеет материалом. Дело уже подходило к концу, он отвечал на вопросы из зала, всем все было понятно, и здесь наступил черед великолепной концовке. На очередном вопросе Елисей Михайлович вдруг замолчал и нахмурился. Виктор Иванович заволновался и повторил вопрос пару раз, но Елисей Михайлович не ответил ничего и вдруг произнес: «мне надоело отвечать на вопросы». Гробовая тишина и в тишине голос Виктора Ивановича: «Ну, вот мои дорогие всем все понятно и с вопросами можно заканчивать», обстановка разрядилась, все заулыбались. В выступлениях после защиты было отмечено, что содержание и качество работы отвечает требованиям не только кандидатской, но и докторской диссертации. Ученый Совет единогласно высказался за присуждение искомой степени нашему дорогому Елисею Михайловичу, и все плавно перетекло в банкет с традиционными семгой и водочкой, дружеским общением с друзьями, товарищами и коллегами. Мы пару дней продолжали праздновать защиту, готовили документы и вспоминали, как все прошло. Это был прекрасный период, а самое главное Валентина Николаевна была очень довольна, поясняя свою радость: «Мой Лелик стал кандидатом наук и защищал диссертацию в храме науки».

Наряду с такими корифеями алмазниками была великолепная диссертация и у молодежи. Так в 2002 году состоялась отличная защита уже моего первого ученика Ильи Серова, первого из плеяды кандидатов наук, которые делали свои работы под моим непосредственным руководством. Он учился на кафедре минералогии, учился хорошо, был рекомендован в аспирантуру и занимался минералогическими, геохимическими и петрологическими характеристиками кимберлитов Якутии. Работа была сложная, она касалась не только минералогии, но продолжала то направление, которое мы развивали вместе с Олегом Михайличенко, а затем с Анжеликой Бовкун. С ним были некоторые трудности в самом начале, он параллельно с учебой трудился и на подработке, не

связанной с наукой, времени на исследования оставалось мало и пришлось с ним серьезно поговорить на втором году обучения в аспирантуре. После чего все пошло нормально, тем более, что он устроился на работу к Владимиру Ивановичу Кузьмину в ВИМС, нашему большому другу, которого я обожаю и люблю. Высокий, импозантный, артистичный, прекрасный минералог и интеллигент высшей пробы.

Илья сделал сильную и интересную работу, с ним было приятно работать. Защита состоялась в 2003 г. на нашем Ученом совете по минералогии и кристаллографии, она прошла успешно, и по договоренности с тогдашним руководителем НИГП АК «АЛРОСА» А.В. Герасимчуком он уехал на работу в г. Мирный, в начале он работал в Ботубинской экспедиции ведущим минералогом, геологом в Тематической партии, а спустя лет пять перешел в НИГП на должность заместителя директора по научной работе, что подчеркивает его талант в геологии – научный и прикладной. Когда Константин Гаранин пару лет тому назад пришел работать в АК «АЛРОСА» (ПАО), то очевидным был выбор на должность начальника отдела поисковой геологии именно Ильи. Это его профессиональный рост, и он его заслужил, и я уверен, что успехи Ильи на этом не закончатся.

И теперь плавно перейдем к следующему ветерану алмазной геологии Архангельского края Николаю Николаевичу Головину. Совсем недавно он занимал должность главного геолога АО «Архангельскгеодобыча», дочерней компании холдинга «Лукойл», держателя лицензии на отработку крупнейшего месторождения алмазов на территории Архангельского региона – трубки им. В. Гриба. Сейчас Николай Николаевич на пенсии, занимается больше дачей и огородом, воспитывает подрастающее поколение. И надо сказать, что это у него получается неплохо.



Фото 7. Главный геолог АК «АРХАНГЕЛЬСКГЕОЛОГИЯ» Николай Николаевич Головин и его учитель Галина Петровна Кудрявцева с дипломами участников научных чтений им. В.И. Смирнова.

Так вот, Николай Николаевич после защиты кандидатской диссертации Елисеем Михайловичем несколько озадачился данным фактом. Как так, его коллега – кандидат наук, а он, к тому времени главный геолог АО «Архангельскгеодобыча», не имеет ученой степени. Мы конечно немного «возбудили» интерес Николая к возможной защите, и он решил начать к ней подготовку. Мы уже тогда понимали, что надо обобщить материалы по Кепинскому полю, большой площади с несколькими десятками трубок кимберлитов и родственных им пород, и определить какие же все-таки перспективы у данной площади. Вот этим Николай и занялся. Получилась очень даже неплохая работа, научным руководителем как всегда была Галина. При подготовке доклада с Николаем произошел забавный случай. Мы как обычно перед защитами проводили репетицию доклада. Обычно, чтобы не было накладок, первые фразы презентации необходимо выучить наизусть, а потом можно заглянуть и в распечатанный ее вариант, чтобы не упустить наиболее важные тезисы. Николай во время репетиции стоит перед нами, мы говорим «начинай!», а он молчит, не проявляя никакой реакции. Что делать? Даже немного не по себе стало, а как он завтра будет докладывать свои материалы на защите, и, не дай Бог, еще и в обморок упадет. Несколько раз репетировали, и я пошел спать. Наутро еще раз надо было его послушать. И каково же было мое удивление. Он доклад произнес без запинки, без использования текста, оказывается добрую половину ночи он учил его наизусть. Защита была прекрасной, профессиональной и, конечно, все завершилось тем, что Николаю Николаевичу присудили заслуженное звание кандидата геолого-минералогических наук.

Ну а следующая защита относилась к нашему сыну Константину. К этому времени у него был достаточно большой запас знаний и богатая жизненная школа. Окончил три высших учебных заведения и среди них был Геологический факультет, обучение профессии геолога он проходил на кафедре геологии, геохимии и экономики полезных ископаемых. Константин уже имел опыт работы в разных компаниях, связанных с геологией и добычей полезных ископаемых, занимая должности администратора, менеджера, руководителя проекта, финансового директора. Он, как мог, помогал нам в геологической науке, а с 1998 г. активно включился в проекты по алмазной тематике Проблемной лаборатории месторождений алмаза, вначале (до 2000 г.) как магистрант кафедры геологии и геохимии полезных ископаемых, а затем в качестве аспиранта. Тема его диссертации была интересная и хорошо ему знакомая – это проблема алмазности щелочных ультраосновных магматитов Зимнего Берега Архангельской алмазоносной провинции и перспективы комплексного освоения месторождений алмаза. Здесь ему пригодилось экономическое образование, не лишним был и диплом юриста. Это был новый подход к нашим диссертантам, когда решались не только научные вопросы, но и рассматривались новые подходы к освоению месторождений полезных ископаемых, в частности алмаза, апробировались технологии обогащения кимберлитовых пород, в частности электроимпульсная дезинтеграция. Для нас было приятно и в определенной степени неожиданно узнать о его способности быстро впитывать новые знания и постоянно учиться, т.е. двигаться вперед и подниматься вверх с очередным набором полученных знаний. Чувствовалось, что у него аналитический ум, возможно, это генетическая передача от его мамы Галины Петровны. Но что еще очень важно. Если Галина шла вперед, иногда не просчитывая шаги, с абсолютной верой, что все получится, то он всегда умел просчитывать варианты на перспективу. Отмечу и высокую работоспособность, желание собственными силами достичь результата.

Мы старались не давить на него в процессе его жизненного пути, всегда выбор его будущего определялся в ходе дискуссии, разговора. Константин – человек творческий и с ним лучше разговаривать, а не давить или приказывать. Конечно, он был человеком научной школы Владимира Ивановича Смирнова, его научным руководителем был Виктор Иванович Старостин. Кроме этого, надо помнить к какой

славной среде Константин приобщался с юношеских лет. В первую очередь, прощу прощения за некоторую нескромность, это мы, его родители, Галина и я – геологи, научные работники и педагоги. Большое влияние на его становление оказал профессор Георгий Алексеевич Крутов. В его квартире Константин был как в своей, часто там бывал и нередко сидел со всеми нами, гостями за большим столом в гостиним зале до позднего времени. Прекрасно Константина знали академики В.И. Смирнов, Г.А. Тварчелидзе, А.Д. Щеглов, Н.П. Лаверов. Он был знаком с большинством алмазников нашей страны. Они приходили к нам в лабораторию, домой в гости, часто оставались переночевать у нас в квартире. Владимир Павлович Гриб, главный геолог ПГО «Архангельскгеология», был старшим товарищем Константина, он очень тепло относился к нему. Константин бывал вместе с нами в г. Архангельске, ездил в полевые лагеря, смотрел керн, отбирал образцы как настоящий геолог. Конечно, в Архангельском регионе он всегда ощущал внимание и заботу семей В.В. Вержака, Е.М. Веричева, Н.Н. Головина. Долгие годы он рос в среде геологов, наших друзей, товарищей и коллег. Это была атмосфера, в которой прошли его детство и юность, и становление как специалиста геолога.

Так вот он подготовил хорошую работу, сделал отличный доклад на защите. Чувствовалось с самого начала его доклада, что это самостоятельный и сильный своими знаниями молодой человек. В конце защиты Председатель Ученого совета профессор Леонид Львович Перчук подводя итог, особо отметил, что это уже специалист, способный решать серьезные проблемы в геологии. Все прошло блестяще, а после защиты пошла трудная и интересная работа на кафедре, а затем в разных зарубежных компаниях. Там он прошел непростой путь, занимая должности от ведущего геолога до руководителя предприятия. И мне очевидно, что именно этот опыт и запас знаний привели его к логическому движению по пути к крупному руководителю большой компании. В 2016 г. по предложению Президента АК «АЛРОСА» (ПАО) Андрея Вячеславовича Жаркова он становится главным геологом этой компании в 41 год. Это сильно и приятно. К сожалению, Галине не удалось это увидеть, этот его карьерный взлет, она была бы за него только рада.



Фото 8. Коллектив лаборатории с нашими близкими друзьями после защиты диссертации Константином Гараниным. Слева направо Галина Николаевна Давыдова, Евгения Борисовна Бушуева, Виктор Константинович Гаранин, Галина Ивановна Бочарова, Галина Петровна Кудрявцева, Елена Рудольфовна Васильева. Сидит Татьяна Владимировна Посухова.

В 2005 г. состоялись три защиты кандидатских диссертаций по алмазной тематике. Одна в ИГЕМе, где свою работу представляла Юлия Голубева, аспирантка ИГЕМ РАН, руководителем у нее была Виктория Аббасовна Кононова. Работа очень интересная и весьма полезная с точки зрения понимания разнообразия по составу петрохимических типов кимберлитов. Она окончила нашу кафедру минералогии в МГУ, руководителем ее студенческих курсовых работ была доцент кафедры Татьяна Владимировна Посухова, которая работала в алмазной тематике Проблемной лаборатории месторождений алмаза всю жизнь после окончания аспирантуры и является сильным специалистом в вопросах морфогенеза алмаза и его индикаторных минералов.

Вторая работа уже имела к нам самое прямое отношение. Примерно в 2003 г. мы познакомились с удивительным человеком – Сергеем Викторовичем Дигонским. Он был уже высококлассным специалистом, работал ведущим технологом в крупной золоторудной российской компании на Урале. Но как выяснилось сразу при нашей первой встрече, это был специалист высокого класса, имеющим Богатый опыт и знания во многих вопросах генезиса и добычи минеральных ресурсов. Мало того, он разбирался в металлургических процессах, технологиях обогащения не только твердых полезных ископаемых, но и нефти и газа. Удивительно талантливый человек. Мы с Галиной были потрясены и очарованы им. Также мы с удивлением узнали, что он имел отношение к выращиванию кристаллов алмаза в разных средах, работал в организациях, которые занимались синтезом алмаза. Оказалось, что он окончил кафедру нефти и газа нашего факультета. В это время у нас с деканом нашего факультета Борисом Александровичем Соколовым были активные дискуссии по поводу синтеза алмаза из углеводородных систем, и к этой дискуссионной теме сразу подключился и Сергей. Борис Александрович его хорошо знал и был только рад его участию в наших дискуссиях. Как выяснилось, Сергей хорошо знал проблематику коровых алмазов из месторождения Кумдыколь (Казахстан) и имел свою точку зрения на их происхождение. Мы уже знали, что он не кандидат наук, и предложили ему заняться этим вопросом генезиса алмаза глубже и начать готовить кандидатскую диссертацию. Он как-то сразу загорелся и под руководством Галины стал делать работу. Сергей жил и живет в Санкт-Петербурге, работал на Урале и все время был в разъездах, но удивительно, что над диссертацией работал постоянно. Мы удивлялись, когда он все успевает делать. И здесь мы узнаем, что он серьезно болен уже несколько лет. С одной стороны проблемы с сердцем, а с другой стороны серьезные проблемы с желудком, утонение стенок желудка. Это опасное состояние, в любой момент от напряжения могут лопнуть стенки желудка, и все может печально кончиться. И тем не менее он работал!

С Галиной они общались очень увлеченно, это был творческий союз двух талантов. Кстати Галину он звал «Петровна», а меня «папа Витя». И в этом союзе была выполнена великолепная оригинальная научная работа.

Сергеем была предложена модель газофазного образования природного алмаза из газообразных углеводородов и показана определяющая роль скорости нагрева вещества (свыше 1000 °C) в этом процессе. Синтез алмаза и графита из газообразных углеводородов осуществляется без применения давления, и практически при одних и тех же температурах, но относительно мгновенный нагрев углеводородов приводит к росту алмаза, а медленный нагрев – к пиролизу с образованием графита.

Исходя из этого, С.В. Дигонским высказано предположение, что коровый генезис алмаза определяется «шоковым нагревом» природных углеводородов. В алмазоносных породах рудной зоны Кумдыкольского месторождения наблюдается повышенное содержание углекислоты, метана и других углеводородов. Эти углеводороды испытали тепловой шок при внедрении гранитов и метасоматической переработке осадочных пород в зоне контакта в результате и образовались алмазы.

Защитил Сергей диссертацию на Ученом Совете Виктора Ивановича Старостина. Конечно, к нему было много вопросов. На все вопросы он отвечал профессионально и грамотно, чувствовалось, что Сергей обладает большими знаниями, и очень трудно с ним было кому-либо дискутировать. Все прошло отлично, и Сергей стал кандидатом наук. К сожалению, болезнь прогрессировала и спустя много времени, когда мы встречались в Санкт-Петербурге, он уже старался не выходить из дому. Любое резкое движение могло привести к летальному исходу. Видимся мы редко, перезваниваемся. Хорошо еще, что у него любящая и преданная ему жена Вика, она всегда с ним. Он не просто живет или существует, он непрерывно работает над разными проектами и это его спасение. Дай Бог ему доброго здоровья.

Третья работа также имела к нам непосредственное отношение. Она еще была примечательна тем, что это была работа поисковой направленности и выполнена была большим специалистом практиком, геологом Амакинской экспедиции АК «АЛРОСА», главным геологом Оленекской партии этой экспедиции Александром Михайловичем Хмельковым. Не так часто к нам обращались геологи этой экспедиции за помощью, консультациями, да и совместных работ с геологами этого подразделения АК «АЛРОСА» у нас практически не было. К нам в экспедиции относились как-то насторожено. Так уж исторически складывалось, что в работах по проблемам поиска алмазных месторождений в Якутии мы в основном взаимодействовали с геологами и минералогами Ботуобинской экспедиции.

Таким образом, Александр Михайлович был наш первый соискатель от Амакинской экспедиции. Познакомились мы с ним на очередной научной конференции в г. Мирном и сразу как-то нашли общие интересы. Галина предложила ему попробовать себя на научной ниве, он загорелся и увлекся. По характеру Саша был тяжеловатый человек, но упорный, работоспособный, увлекающийся. Специалист он был отменный. Это был поисковик высочайшего класса. Опытный, знающий и умеющий четко и жестко себя вести в тяжелейших полевых условиях. В отличие от него жена у него была мягкая и доброжелательная. Две девочки с ними жили в поселке Айхал, хорошая дружная семья. Была в его жизни трагедия – нелепая и трагическая смерть их старшего сына. Но Саша – мужественный человек, достойно переживал все трудности жизни.

Мы определили его соискателем научной степени, Галина стала научным руководителем, и работа началась. Она касалась методики поисков алмазных месторождений на основе исследования типоморфизма индикаторных минералов кимберлитов. С такими специалистами как Саша легко работать, он знающий, цепкий, работоспособный человек с творческой жилкой и увлеченностью. Работа была прекрасная, защищена прошла уверенно. Саша очень уважал Галину и относился к ней с большой любовью и нежностью. У нас весной в марте 2005 г. погиб наш старший сын Сергей, он это знал и старался как-то хотя бы через свою работу отвлечь нас от этой трагедии, которая ему, к сожалению, также была знакома.

После защиты диссертации Саша продолжал работать в Амакинской экспедиции. Мы еще несколько лет работали вместе. Затем наши дороги разошлись. Я знаю, что сейчас он продолжает работы по алмазной тематике, хотя и покинул Амакинскую экспедицию, его старшая дочь Эля после окончания МГРИ вернулась в Айхал, работает в Амакинской экспедиции минералогом, продолжая дело своего отца. Молодец девочка!

С 2005 г. у нас пошла черная полоса в жизни. Началось все с Сергея. Это, конечно, для нас был сильный удар. Сергей к этому времени был основным руководителем среди российских специалистов в московском представительстве японской фирмы «Seiko-Epson». Всемирно известная фирма, выпускающая различную продукцию. Сергей стоял у истоков организации фирмы в Москве в 1993 г. Он прошел в 90-е годы через все: вокруг были бизнесмены, чиновники, «братки». Уникальный парень, все держал в голове, быстро считал расклады и варианты развития ситуации, много сделал для развития

бизнеса фирмы в Москве, России, на территории республик бывшего СССР. Японцы его очень ценили и доверяли ему. Конечно, он вел достойную жизнь, имел хорошую заработную плату, машины, мотоциклы, любил скорость, что его и погубило в конечном итоге. Сергей разбился на машине, перевернувшись на большой скорости. Ему было 33 года, возраст Иисуса Христа. Трагедия произошла в марте, а в том же году в январе на чтениях им. В.И. Смирнова была презентация фирмы «Epson», и Сергей делал основной доклад «Развитие компании Epson (Япония) на российском рынке», который произвел большое впечатление на публику. Он совершенно спокойно и профессионально владел информацией и четко, убедительно докладывал на понятном для всех языке, излагая информацию, которая напрямую не относилась к специфике работы Геологического факультета. Он говорил о продукции фирмы «Epson», а публика была в основном геологическая, но при этом все прекрасно понимала, о чем он говорит. Все прошло прекрасно, фирма презентовала Геологическому факультету оргтехнику. Все были очень довольны, а Сергей получил Диплом Фонда им. В.И. Смирнова за свое выступление. Это было время его интенсивного развития и роста, Сергей был на взлете, в мае месяце он должен был прибыть в центральный офис корпорации в Токио, где его должны были назначить главой московского представительства фирмы «Epson» в России, но в марте его не стало.

Несмотря на этот сильный удар, мы продолжали работать и осенью, как я выше уже писал, с успехом прошла защита кандидатской диссертации А.М. Хмелькова, руководителем, как я упомянул, была Галина Петровна Кудрявцева. Это говорит о многом и в первую очередь о силе ее характера, воли и полной отдаче своей работе.

Иногда, когда все это вспоминаешь, начинаешь верить в некую судьбу, есть ощущение, что в твоей жизни кто-то уже все расставил заранее. То, что не ожидаешь никоим образом, вдруг случается и ничего нельзя сделать.



Фото 9. Награждение Сергея Гаранина дипломом Смирновских чтений. Вручает диплом президент Фонда им. В.И. Смирнова, профессор В.И. Старостин. 2005 г.

Мы с Галиной всегда мечтали выступить на чтения великого В.И. Смирнова, это, конечно, была бы большая честь для нас. И вот в ноябре 2005 г. Виктор Иванович приглашает нас с Галиной в свой кабинет и говорит, что нам пора выступать на чтениях. Мы искренне обрадовались и активно начали готовить наши доклады к этому мероприятию. Наши доклады касались дискретности и полигенности природного алмазообразования. На тот момент было не так уж много опубликованных данных по этой теме, не было системного подхода к анализу имеющейся информации, но мы ухватили главное – многообразие генетических типов алмаза в природе, данная тематика, несомненно, будет актуальна еще многие десятилетия. Доклады были приняты с интересом, и нам было приятно слышать высокую оценку наших сообщений. Это было 31 января 2006 г., а 26 февраля Галины не стало. Меня все время после этих событий мучил вопрос, почему Виктор Иванович именно в ноябре 2005 г. пригласил нас выступить с докладами на чтениях. Он как будто что-то предчувствовал или так сложились обстоятельства, что он обратился к нам с просьбой сделать интересный доклад на чтениях. Не знаю, да и Виктор Иванович не знает ответа на вопрос, что толкнуло его к этому шагу. Главное, что Галина выступила на этих чтениях, как она хотела и о чем она мечтала.

Интересно проследить судьбы Сергея и Галины, оба шли к успеху через огромные трудности, преодолевали их и шли дальше, спешили, торопились, а потом полет в бездну на середине блестящего взлета. Что это? Кто-то скажет - судьба. А что такое судьба? Мы ее сами делаем или нам кто-то чуть-чуть помогает, и каждому по-разному в зависимости от обстоятельств, от того, кто ты, что собой представляешь. Есть над чем задуматься. Это уже не материя, а философия жизни.

Новые вызовы

И надо было жить и работать дальше. Это я понимал и первое, что я сделал, не откладывая в долгий ящик – сразу принялся за свою докторскую диссертацию. Это надо было сделать, надо было сохранить дело, направление исследований, коллектив лаборатории, молодежь и учеников. К маю 2006 г. я подготовил автореферат и презентацию, работалось легко, с азартом и напряжением. Вообще мой стиль работы в отличие от стиля Галины – работы рывками. Я могу во время работы расслабиться на какое-то время, заняться чем-нибудь другим, отвлечься, а затем собраться и делать дальше работу. А Галина работала в непрерывном режиме, сосредоточено, не отвлекаясь на какие-то другие дела, когда надо было что-то сделать. И только тогда, когда дело было сделано, она могла расслабиться и делать что-то другое.

Но в данной ситуации я все отбросил и работал каждый день с остервенением. Материалов за 35 лет работы в алмазной геологии у меня было очень много, моя работа была посвящена минералогии кимберлитов алмазных провинций России в связи с их генезисом и поисками. В связи с большим объемом накопленных материалов диссертация получилась объемной – на 550 страниц. В мае при большой аудитории я успешно прошел предварительную защиту на кафедре минералогии, и защита была назначена на октябрь 2006 г. Во время подготовки диссертации я много общался с Алексеем Александровичем Маракушевым. Это были прекрасные дружеские встречи, обмен мнениями по широкому кругу вопросов, которые касались генезиса алмаза, мантийных и кимберлитовых пород. Стиль общения Алексея Александровича чем-то напоминал мне манеры Георгия Алексеевича Крутова. Я был очень благодарен А.А. Маракушеву за его теплое и дружеское отношение ко мне.

Еще два человека отнеслись ко мне очень бережно в тот период, это сотрудники нашей кафедры – Игорь Викторович Пеков и его супруга Анна Георгиевна Турчкова. Игорь и Аня для меня настоящие друзья. Я попросил их посмотреть работу с точки зрения орфографических ошибок, стиля, отредактировать ее при необходимости, т.к.

времени было мало, материала много, писать надо было быстро. Они не просто согласились, а буквально «перешерстили» мою работу. Прекрасные ребята, и я им очень благодарен за это, дружеские отношения остались у нас до сих пор. Я очень рад, что Игорь в 2016 г. стал членом-корреспондентом РАН. Он сильный минералог, талантливый и умный специалист, находящийся в расцвете сил. Аня не просто его помощница, а просто «второе его я». Дай Бог им здоровья и дальнейших успехов.

Моя защита многим запомнилась надолго. Мне лично – навсегда. Это был, конечно, грандиозный спектакль. Во-первых, 50 только положительных отзывов, из которых два в виде правительственных телеграмм. Замечу, что 35 отзывов на докторскую диссертацию (например, у академика В.С. Урусова) – это уже много, а здесь 50! Это был рекорд по количеству отзывов, по крайней мере, на нашем Минералогическом Совете. Во-вторых, аудитория 415 была заполнена до отказа. Люди сидели на подоконниках и ступеньках. Все мои плакаты висели на всех стенах вплоть до потолка. Это было красивое зрелище. Все прошло ярко и празднично. Доклад, вопросы, ответы, полемика, выступления оппонентов, дискуссии – все было очень насыщенно. Блистал Председатель Совета академик Вадим Сергеевич Урусов, наш с Галиной большой друг и соратник. О нем, конечно, я обязательно еще напишу воспоминания, посвященные этому дорогому для нас с Галиной человеку. Защита прошла с успехом, за работу положительно проголосовали все члены Ученого Совета, и я стал доктором геолого-минералогических наук. Банкет тоже был весьма не рядовым, на нем присутствовало порядка более ста человек, что также подчеркивает масштабность события.

А дальше меня понесло (как говорят «Остапа понесло»), поездки, доклады, встречи и прочее, а здоровья стало не хватать от всего этого напряжения, и вылезли серьезные болячки: давление, аритмия сердца, диабет и прочее. В буквальном смысле слова я стал загибаться, но вовремя упорядочил жизнь и стал более внимательно относиться к своему здоровью.

Работы только прибавилось! Много стало обращений ко мне в связи с оппонированием кандидатских и докторских диссертаций, да и в лаборатории было много дел.

Сразу же с 2007 г. мы организовали научные чтения им. Г.П. Кудрявцевой, которые с тех пор у нас на кафедре минералогии проходят регулярно каждый год. Нас очень радует активная позиция молодежи, которая активно участвует в работе этих чтений и делают очень хорошие доклады.

С 2007 г. по-настоящему деловые и дружеские отношения установились у нас с кафедрами минералогии и геологии полезных ископаемых Санкт-Петербургского горного университета. На кафедре минералогии заведующим кафедрой был Юрий Борисович Марин – чудесный, интеллигентный человек, известный минералог, а на кафедре геологии полезных ископаемых – обаятельный и интеллигентный Александр Владимирович Козлов, также известный геолог. У нас и сегодня с этими большими учеными и профессорами дружеские отношения. В 2007 г. успешно прошла защита кандидатской диссертации сотрудником кафедры геологии полезных ископаемых Евгением Васильевым, с которым мы сразу установили деловые и профессиональные отношения, которые вылились в интересные публикации по алмазу. Прекрасный и умный парень, супруг симпатичной жены, отец четверых детей, глава дружной семьи. Что еще надо в жизни? Женя сейчас успешно работает в области спектроскопических исследований алмаза и тесно сотрудничает с сотрудницей нашей лаборатории Галиной Кriuлиной.

С 2007 г. начались наши контакты с Георгием Германовичем Самосоровым, которые переросли в настоящие добрые и дружеские отношения.



Фото 10. Открытие очередных научных чтений им. Г.П. Кудрявцевой. Профессора, научный руководитель чтений В.К. Гаранин и председатель данного форума А.А. Ульянов.

Все началось с того, что заведующая кафедрой геммологии МГРИ, профессор Юлия Петровна Солодова в конце января 2007 г. обратилась ко мне с просьбой быть оппонентом кандидатской диссертации ее ученика, соискателя, Георгия Германовича Самосорова, сотрудника института Криминалистики ФСБ России. Его работа была посвящена типоморфным особенностям алмазов из алмазоносных трубок Комсомольская и Удачная Якутии. Я согласился и встретился с ним. Как это обычно происходит, он передал мне автореферат и диссертацию, мы с ним побеседовали, и я увидел, что ему трудно в изложении материала, многие теоретические вопросы образования на тот момент для него представляют определенную трудность. Я предложил ему обменяться мнениями по работе и вопросам генезиса алмаза. И мы с ним до защиты диссертации стали часто встречаться и общаться. Это привело к тому, что подготовку доклада и репетицию защиты Георгий выполнял в нашей лаборатории. Мы с ним сблизились и уже много времени уделяли различным вопросам генезиса алмаза. Защищал работу Георгий на Ученом Совете в ВИМСе, все прошло успешно. После защиты мы договорились с ним встретиться для обсуждения дальнейших шагов по возможному сотрудничеству. С этого момента началась наша совместная работа и наши человеческие, дружеские контакты, которые не прерывались и, я полагаю, не прервутся в ближайшие годы.

Сейчас у нас большая серьезная работа по государственной оборонной тематике, которую курирует Г.Г. Самосоров. Это очень ответственная работа, касается она алмаза, и пока за эту работу мы имеем высокую оценку наших кураторов, о чем в 2015 г. был информирован декан нашего факультета, академик Д.Ю. Пушаровский. Это большая честь для нас, и мы стараемся не подвести наших кураторов.

В те годы продолжилось наше взаимодействие с китайскими коллегами. В 2008 г. с успехом прошла еще одна защита на Ученом Совете по минералогии и кристаллографии аспирантки из Китая Гао Сяоин. Научным руководителем этой работы

была Татьяна Владимировна Посухова. Гао Сяоин была первой ее соискательницей, ставшей кандидатом геолого-минералогических наук. Тема ее работы касалась сравнительной минералогической характеристики алмазоносных кимберлитов Китая и России. Такие работы очень полезны, т.к. происходит обмен материалами по алмазоносным породам специалистов из разных стран. В этом случае у нас дополнительно расширяются не только связи, но и возможности для получения новой информации.

Наступил 2008 г. и этот год был особый для меня. В том году успешно защитили свои кандидатские диссертации четыре моих ученика, и можно было реально подумать о получении звания «профессор». Первым в плеяде новых кандидатов наук необходимо вспомнить Дмитрия Борисовича Дьяконова, выпускника кафедры минералогии. Учился Дима, прямо скажем, немного с ленью, но была заметна одна деталь, он очень любил полевые работы. После окончания Геологического факультета в 2003 г. он пошел работать во Всероссийское внешнеэкономическое объединение «Зарубежгеология». Надо отметить, что все его курсовые и дипломная работы были связаны с кимберлитовой тематикой, а дипломную работу он делал по результатам изучения кимберлитовых тел Юго-Западной Анголы, которые были открыты специалистами «Зарубежгеологии». После окончания Геологического факультета он поступил на работу в это предприятие. Так получилось, что на территории Юго-Западной Анголы в то время были обнаружены несколько новых кимберлитовых тел, а Дима обрабатывал все минералогические, петрологические и геохимические материалы по этим телам. Это была новая информация и, конечно, Диме пришла мысль о защите диссертации. Я был у него руководителем всех его работ, можно сказать учителем с первого курса. Конечно, мы постоянно были с ним на связи. И когда Дима пришел ко мне с этой идеей, я был несколько в шоке, так как понимал, что среди преподавателей кафедры это вызовет негативный шок, так как они помнили его как «трудного» ученика. Об этом я ему и сказал, на что он меня спросил с обидой: «я что, плохо учился»? В общем, видя все его материалы, я понял, что для защиты диссертации они вполне подходят, и предложил ему их доработать, собрать дополнительный материал, писать статьи, представлять доклады по данной тематике на конференциях и не откладывать все это в долгий ящик. Надо сказать, Дима принял это выполнять с присущим ему энтузиазмом. Действительно собирал и обрабатывал информацию, выполнял полевые работы и был одним из основных исполнителей большого отчета по новым телам Анголы, который впоследствии был переиздан в виде коллективной монографии, т.е. он вошел в тему как специалист. И с ним можно было уже думать о защите. Так как работа была комплексная от геологии до минералогии, касалась поисков и разведкой тел, их прогнозной оценке, я пошел к Виктору Ивановичу и получил одобрение на то, чтобы Дима прикрепился к кафедре полезных ископаемых как соискатель научной степени для подготовки диссертации. К 2007 г. основные контуры диссертации были уже видны, были статьи, издана монография и можно было выступать на кафедре с докладом. Первый раз доклад был не удачным. Было видно, что Дима волновался и никак не мог ухватить нить доклада. Он явно расстроился, но коллектив кафедры отнесся к нему по-отечески заботливо и дал время для подготовки повторного доклада по теме диссертации. Мы с ним прошлись по всем ошибкам и терпеливо стали готовить новый доклад, учтя все недочеты и ошибки, да и автореферат надо было подготовить в новом формате. Месяца через три Дима снова выступил на кафедре. Это было уже другое выступление, яркое, эмоциональное, цельное. Дима также великолепно отвечал на вопросы, и было совершенно понятно, что тему он знает, проблему понимает и осознает, что делать сегодня и каковы будущие перспективы развития его исследований. Работу одобрили, рекомендовали к защите и в феврале 2007 г. он успешно защитил кандидатскую диссертацию. Он был очень доволен. Какое-то время еще поработал в

«Зарубежгеологии», затем в разных алмазных компаниях в Африке, осуществлявшими поиски месторождений алмаза и золота, а последние несколько лет он работает ведущим геологом в геологоразведочном предприятии ГРО «Катока» в Анголе. Я очень рад его успехам, он доволен и с гордостью говорит, что у него тоже есть учитель по жизни – это Виктор Константинович Гаранин. Это «чертовски» приятно слышать.

Теперь вспомним о моей ученице Ольге Палажченко. Прекрасная студентка кафедры минералогии, спортсменка, стройная и обаятельная. Она училась на отлично, и путь в аспирантуру ей был предопределен. Я был ее научным руководителем со студенческой скамьи, материал ей был подготовлен большой, он основывался на результатах изучения коллекции алмазов из трубок месторождения им. М.В. Ломоносова Архангельской провинции. Началась работа, но как бывает в жизни, по началу, ее больше интересовали жизненные успехи другого плана, поездки за рубеж, организация шоу-концертов и прочее. Я перестал ее видеть, и это мне очень не нравилось. И вот на втором году обучения я пригласил ее с мамой для разговора, который был достаточно жестким с моей стороны. Это немного привело их в необходимый тонус. Ольга рьяно взялась за работу и сделала диссертацию мастерски. Защита проходила в июне 2008 г., прошла успешно, она особо понравилась председателю Ученого Совета, академику В.С. Урусову. При этом он подчеркнул, что эта работа отличается от всех предыдущих тем, что в ней поставлены задачи на продолжение работы, на перспективу.

Ольга молодец, после защиты она нашла престижную работу, хотя очень жалела и жалеет, что пришлось прервать занятия наукой. В настоящее время она возглавляет отдел секретариата в центральном офисе российского миллиардера Олега Дерипаски уже примерно лет семь. Мы с ней постоянно на связи, у нее растет сын и все у нее в порядке. И надо сказать в одном случае она очень помогла и мне, всей отечественной науке и в целом стране, в то время, когда я был директором Минералогического музея имени А.Е. Ферсмана. Как только я пришел работать в музей, сразу было понятно, что здание музея находится в неудовлетворительном состоянии, особенно волновала ситуация с крышей, которая протекала, вода разрушала уникальные изображения на потолке музея, который был необычайной красоты, и видеть эту красоту с огромными следами протечек было невыносимо больно. Как-то раз, как мне помнится в августе 2011 г., она позвонила мне и попросила принять детей Олега Дерипаски, показать им музей. Я с удовольствием согласился. Каково же было наше удивление, когда с двумя маленькими детьми, сыном и дочерью, в музей приехал сам Олег Дерипаска с охраной, помощниками, гувернерами. Мы стали все им показывать и рассказывать об экспозиции музея. Его помощница Ольга Мельникова спросила у меня, какие у нас проблемы, и я показал на потолок. Когда О. Дерипаска уходил, он меня поблагодарил и сказал, что с крышей поможет. И каково же было удивление всех сотрудников, когда примерно через две недели в музее появились строители и начали работать, менять крышу. Через два месяца работы были завершены, и вот уже более 7 лет крыша не пропускает воду и все мы, работники музея, этим чрезвычайно довольны.

Следующий человек, о котором сейчас пойдет речь, для меня очень дорог. Все его движение по пути профессионального роста проходило на моих глазах и во многом при нашем с Галиной участии. Я говорю о Владимире Васильевиче Третьяченко. Удивительный человек, увлеченный своей профессией геолога, упертый и самообучаемый. Вот это последнее качество проявляется у немногих людей. Вот, например, Галина, была из подобного рода людей, наши дети Сергей и Константин, Игорь Пеков, Галина Криулина, Эрнест Максович Спиридонов, Николай Николаевич Шатагин. Я здесь привел имена немногих из тех, кого я хорошо знаю. Мы познакомились с Владимиром Васильевичем Третьяченко в конце 80-х годов, когда он уже работал в Архангельске в 17-й экспедиции ПГО «Невскгеология», затем он работал в ЗАО «Кратон» ведущим геологом, а после этого вот уже долгое время работает ведущим

специалистом в НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО) в г. Архангельске. С начала 2000-х годов мы начали плотно сотрудничать. К нему очень хорошо относился В.В. Вержак, ценя его как хорошего специалиста, и мы с Володей Третьяченко постепенно стали сотрудничать по многим вопросам минералогии кимберлитов и родственных им пород Зимнебережного алмазоносного района. И где-то с 2005 г. мы начали приставать к нему с вопросом о подготовке им кандидатской диссертации. Он уже занимался минерагенией Северо-Запада Российской Федерации, очень хорошо знал петрологию, геохимию и минералогию кимберлитов и родственных им пород, сотрудничал со многими специалистами из академических институтов и делал весьма профессиональные доклады на научно-производственных конференциях. Видно было, что Владимир Васильевич серьезный и компетентный специалист, геолог широкого профиля и, главное, глубоко и профессионально понимает и знает Юго-Восточное Беломорье. Он глубоко уважал и почитал Галину Петровну, а мы неоднократно уговаривали его заняться написанием кандидатской диссертации. И к 2007 г. у него уже было достаточно много материала по минерагеническому районированию кимберлитовой области Юго-Восточного Беломорья. Главным было сконцентрировать его на выполнении работы по подготовке диссертации, а когда он начал ее осуществлять, собирать и анализировать получаемый материал, то было понятно, что Володя уже не остановится, пока не защитится. Он загорелся, работал много, энтузиазм выплескивался через край, его уже приходилось даже тормозить. Володя хотел в свою работу вставить все, что у него было. Ему еще крупно повезло, что рядом с ним была преданная ему, любимая жена Наташа, которая взяла на себя огромную работу по оформлению всех графиков, таблиц, рисунков и прочих приложений. Он ее просто терзал своими поручениями, предложениями, новыми идеями, поручениями как построить тот или иной таблицу, график, карту. Как она все это вынесла, просто не понимаю. Но все выдержала! А ведь еще на ней были семейные обязанности, ответственность за детей. Володе очень повезло с таким крепким тылом. Наша страна выиграла Великую отечественную войну еще и потому, что был крепкий тыл. И здесь была та же самая ситуация. Володя выиграл сражение, потому что у него был крепкий тыл.

Защита диссертации проходила в июне 2008 г. на Ученом Совете В.И. Старостина. Члены Совета, да и сам Виктор Иванович, были под большим впечатлением от доклада, презентации, самой диссертации. Чувствовалось, что знания у В. Третьяченко глубокие и основательные, у него была своя позиция, которую он готов был профессионально и яростно защищать. И, конечно, Владимир Васильевич стал кандидатом геолого-минералогических наук. Сейчас он также продолжает трудиться в НИГП АК «АЛРОСА» в г. Архангельске, его ценят, он сейчас один из главных экспертов самого высокого уровня по всей Восточно-Европейской платформе. И я снова его обрабатываю, но уже на покорение следующей вершины – защиты докторской диссертации.

Я уже отмечал, как себя чувствуют родители, когда видят, на какие высоты поднимаются их дети. Вдвойне приятно, когда они одной профессии, а втройне приятно, когда в этой профессии твой ребенок получает высокую квалификацию – становится кандидатом наук. Так и получилось в семье Владимира Васильевича Вержака. У них с Валентиной двое детей: Максим и Даша. Максим выбрал свой путь и сейчас это очень сильный юрист, работает в Санкт-Петербурге и все у него замечательно, семья, ребенок, работа, успехи и т.д.

Даша – любимица Владимира Васильевича Вержака, очень красивая девушка, тонкая, стройная, очень привлекательная, милая и доброжелательная. Она окончила Северный федеральный университет в г. Архангельске, а по окончании университета пошла работать специалистом в лабораторию НИГП АК «АЛРОСА» в г. Архангельске к В.В. Третьяченко, занималась вопросами экологии и изучением отходов алмазодобывающей промышленности АО «Севералмаз» на месторождении им. М.В.

Ломоносова. Конечно, мы ее знали очень хорошо с самого раннего детства, по этой причине, как только она стала работать, взяли ее под свой патронаж. К тому ж она занималась теми проблемами, которые нас интересовали. Вопросы утилизации отходов алмазодобычи, их возможное использование – это всегда острые вопросы разработки месторождений. Здесь, естественно, в первую необходимо досконально знать вещественный состав пород, в случае с Дашей требовалось детальное изучение кимберлитов из трубок месторождения им. М.В. Ломоносова.

Мы в 80-90-х гг. предварительно изучали состав возможных отходов алмазодобычи месторождения им. М.В. Ломоносова, однако требовалась дальнейшая работа в этом направлении. Также в своей кандидатской диссертации Константин уделил этому направлению большое особое внимание. Одно из защищаемых положений его диссертации было направлено на констатацию факта выделения в ААП нового типа потенциального промышленно-генетического типа месторождений высокомагнезиальных глин на основе месторождений алмаза. Это очень важное и необходимое направление разработки алмазных месторождений на территории Архангельской области. Конечно, это направление необходимо развивать дальше. И хорошо, что Дарья Вержак взялась за это дело. Естественно, что мы принимали в этой работе непосредственное участие. Галина Петровна и Константин всячески ей помогали правильно выбрать направление работы и следовать этому пути.

Даже и вариантов не было, когда речь пошла о научном руководителе. Конечно, это должна была быть Галина Петровна Кудрявцева. Она и знала Дашу с детства, и относилась к ней с любовью и нежно, являясь при этом одним из самых сильных специалистов России по генезису и практическому использованию основной массы кимберлитовых пород. Высококласный специалист, у которого была уже сформирована школа минералогов-алмазников России, Галина взяла Дашу под свою опеку, непосредственно с Дашей взаимодействовали сотрудница нашей лаборатории Е.Б. Бушуева и Константин. Тематика работы была интересной и перспективной. Уверен, что Даше повезло в общении со специалистами, которые ей помогали при выполнении ее работы, от них она многому научилась и сегодня ей это помогает в ее работе.

Итак, направление работы Д. Вержак соответствовало тематике работ нашей лаборатории и отвечало насущным проблемам комплексного освоения месторождения им. М.В. Ломоносова. Ведь уже началась работа по отработке трубки Архангельская, был обустроен карьер, введена в строй обогатительная фабрика, построен новый вахтовый поселок. Это была серьезная работа по освоению месторождений алмаза Архангельской области. И работа Дарьи Вержак (после замужества Шпилевая) была востребована, и это было главным посылом выполняемых ею исследований. К 2008 г. работа была сделана. Даша была прикреплена для выполнения кандидатской работы к кафедре геологии и геохимии полезных ископаемых, а научным руководителем стал Виктор Иванович. Галины к этому времени уже не было.

В начале декабря 2008 г. Даша Вержак прекрасно защитила диссертацию, стала кандидатом геолого-минералогических наук, продолжала работать, родила двух очаровательных детей. Конечно, больше всего радовались ее родители, а особенно Владимир Васильевич Вержак. Был перерыв в ее трудовом стаже, пока ее дети были маленькими, а сейчас она работает в Северном федеральном университете, является руководителем недавно созданного геологического музея при университете. Жизнь налажена, и она, в полной мере, реализует себя не только как женщина, но и как кандидат наук. Это прекрасно!

Еще одна интересная работа, представленная к защите кандидатской диссертации, была выполнена в 2008 г. Игорем Ивановичем Шмаковым. Игорь уже тогда был достаточно взрослым человеком, поработавший во многих геологических организациях, в том числе и за рубежом. Он окончил Новосибирский университет по

специальности геолог, начинал свою трудовую деятельность на Урале и самого начала занимался проблемами россыпных месторождений алмаза в России, в дальнейшем изучая и коренные месторождения алмазов и других полезных ископаемых. Много практических знаний, связанных с поисками, оценкой и разведкой россыпных месторождений алмаза он получил в Намибии и ДР Конго. Он –опытный геолог практик. При этом у него была жилка исследователя, он всегда, где бы ни работал геологом, собирал, анализировал и обобщал материал, а не только занимался производством. Я близко с ним познакомился еще в начале 2000-х годов. Тогда же он через нас с Галиной познакомился с Константином, пригласив его на работу, связанную с поиском и отработкой россыпей алмазов на шельфе Намибии. С тех пор они с Константином связи не прерывали, активно помогая друг другу в работе. А с нами у него установилась творческая связь. Он приходил к нам в лабораторию, делился своими результатами по работе, советовался по проблемам россыпных и коренных месторождений алмаза, и мы с ним всегда были на связи, следили за всеми его передвижениями. У него стал накапливаться большой материал и, когда он был в Москве, всегда показывал нам новые данные, мы их обсуждали и настойчиво советовали Игорю, особенно во время его работы в ДР Конго, как-то задуматься о написании кандидатской диссертации. И вот в 2006 году он решился этим заняться. Ему было трудно пойти на этот шаг, т.к. была работа за рубежом, в основном полевая и она, конечно, не располагала к занятию наукой. Тем не менее, мы с ним обозначили тему, примерный план, объем, и Игорь потихоньку вошел в ритм работы над диссертацией. Поначалу было трудно, но постепенно все нормализовалось. Я привел его к Виктору Ивановичу, Игорь рассказал ему о своей работе. Все выглядело актуальным, и его взяли на кафедру геологии и геохимии полезных ископаемых соискателем для подготовки диссертационной работы. Научным руководителем назначили меня, т.к. я уже много лет курировал работы Игоря.

С Игорем было легко работать. Он профессионал, быстро вошел во вкус научной деятельности. В начале 2008 г. Игорь успешно прошел предварительную защиту своей работы, а в конце 2008 г. уже защитил кандидатскую диссертацию. Надо сказать, что его диссертация вызвала большой интерес у специалистов, в ней было много идей, все-таки были представлены результаты работ в алмазных районах сразу трех стран. У Игоря прекрасная семья, обаятельная жена Алена, двое детей. Конечно, это ему очень помогало и помогает работать в непростых полевых условиях.

Когда Константин пришел в компанию «АЛРОСА», то он пригласил Игоря на работу в г. Мирный. Сейчас Игорь – заместитель директора по науке НИГП «АЛСРОА» (ПАО). Это большая организация со славной историей, семья с ним, жена работает в Ботубинской экспедиции, у них все в порядке, и это очень хорошо.

В 2008 г. произошло еще одно позитивное и знаковое событие в нашей профессиональной жизни. В МГРИ в ноябре 2008 г. состоялась защита докторской диссертации патриарха алмазной геологии Зуева Владимира Мироновича. Ему в этом году весной исполнилось 80 лет, и он в строю, продолжает активно работать в компании АК «АЛРОСА» (ПАО). Начиная Владимир Миронович геологом карьера в Якутии примерно 60 лет назад, прошел все ступени развития как специалист, работал в поисковой и эксплуатационной геологии, был главным геологом компании «Алмазы России-Саха» (преемницы ПНО «Якуталмаз», предшественницы компании «АЛРОСА»), вице-президентом этой компании. Существенна его роль в открытии и освоении крупнейших месторождений алмазов не только Анголы, но и Мира – трубок Катока и Луэле. В 90-е года при его активном участии прошла перестройка алмазобриллиантового комплекса АК «АЛРОСА». Все крупнейшие открытия последних лет компании свершились при его участии.

Теперь вернемся к нашей лаборатории. Еще один наш талантливый ученик, который работал по алмазной тематике в стенах нашей лаборатории – это Михаил

Борисович Копчиков, который продолжил изучение алмазов Архангельской провинции. Способный парень из г. Лобни Московской области, прекрасно учился в школе и университете на нашем Геологическом факультете, контактный, благожелательный. Окончил кафедру минералогии с красным дипломом, и по предложению заведующего кафедрой минералогии, профессора А.С. Марфунина пошел к нему в аспирантуру заниматься исследованиями окраски синтетических кристаллов алмазов, облученных радиацией, но работа застопорилась, т.к. Арнольд Сергеевич мало уделял ему внимания, не было хорошей экспериментальной базы и самих алмазов, а дело приближалось уже к третьему году обучения в аспирантуре. И тогда Михаил по совету профессора нашей кафедры А.А. Ульянова обратился непосредственно ко мне с просьбой помочь ему с выполнением кандидатской диссертации. Так как тема алмазов из тел Архангельской провинции у нас не прерывалась, то после Ольги Палажченко надо было ее продолжить. И здесь очень кстати пришелся интерес Михаила Борисовича к продолжению исследований. У нас были кристаллы из месторождений алмаза, новых тел Кепинского поля, а также тел магматитов Верхотинского и Ижмозерского полей. Все эти кристаллы надо было изучить, обобщить полученные данные, дав новый импульс продолжению исследований в генетических и поисковых аспектах. Мы быстро нашли общий язык, фактические материалы у нас были, работа обещала быть интересной. Михаил Борисович перешел к нам в лабораторию, А.С. Марфунин не возражал, и через два года в феврале 2009 г. Михаил великолепно защитил диссертацию по алмазам из тел Архангельской провинции.

При выполнении работы мы с ним очень сдружились, легко нашли контакт, шутили, говорили на разные темы, хотя на кафедре некоторые наши сотрудники относились к Михаилу настороженно.

Я познакомился с его семьей, мамой Галиной Георгиевной, папой, сестрой. Прекрасная семья, хорошие люди, гостеприимные, душевные и добрые. На всех больших семейных праздниках я их почетный гость. Да и Миша, когда есть время, приезжает ко мне на дачу – один или с семьей. У него прекрасная семья, жена Юля и двое детей – Ирина и Игорек. Мне импонирует его заботливое отношение к родителям, любовь к близким, родителям, жене, детям.

Сейчас он работает в ректорате МГУ и является заместителем проректора по работе с молодежью. К сожалению, с минералогией и алмазами Миша видимо прервал связь на долгие времена, а жаль.

В 2009 г. было еще одно большое событие, которое касалось нашей лаборатории. К защите была представлена докторская диссертация Андрея Викторовича Боброва. К этому времени уже доцента кафедры петрологии. Сейчас он не только преподаватель, профессор, но и выполняет большую научную работу, изучая алмазообразующие среды. Он уже маститый ученый, представляющий интересные экспериментальные работы, у него свои ученики и студенты, а сам Андрей планомерно движется вперед.

Надо сказать, что Андрей талантливый человек, это было заметно со студенческих лет. В последующем он прекрасно читал лекции для студентов, вел семинары. Он умело и с высоким профессионализмом проводит эксперименты, прекрасно знает английский, много времени проводит на стажировках за рубежом. Андрей Викторович, на мой взгляд, типичный представитель талантливой русской молодежи.

Андрей заботливо и большой любовью относится не только к своим родителям, но и что особенно вызывает уважение к своему учителю – А.А. Маракушеву и его супруге Надежде Панеях.

В его работе, представленной к защите докторской диссертации, рассматривались вопросы минеральных равновесий алмазообразующих карбонатно-силикатных сред. Это большая интересная работа. Защита прошла на высоком уровне, было много отзывов,

заполненная аудитория и работа получила свое признание, а Андрей стал доктором геолого-минералогических наук, а в скором времени и профессором кафедры петрологии. У него уже была семья, Лариса – его любимая супруга, дочка, в которой он души не чает, и конечно любимая теща Нина Борисовна (она работает в бухгалтерии нашего факультета), близкий не только ему, но и нам человек, добрая и отзывчивая женщина, к которой в нашей семье мы испытываем особое уважение. Так что уверен, что у Андрея впереди большое будущее. Мы с ним в большой дружбе, а я с интересом и симпатией наблюдаю за всеми его успехами.

Мимо нас в 2009 г. не прошла и работа Михаила Александровича Богуславского. Его работа касалась геолого-петрофизической и финансово-экономической оценки алмазности трубки Комсомольская (Якутия). Это очень интересная трубка с небольшим содержанием алмазов, однако они высокого качества и соответственно характеризуются высокой стоимостью. Я был одним из оппонентов этой работы, знал ее очень хорошо. Мне она была еще очень интересна тем, что лежала в одной плоскости с нашими идеями по оценке алмазности тел с использованием минералогических экспресс методов.

Наша славная эпопея выступлений на научных чтениях В.И. Смирнова продолжилась и для меня была большая честь выступить с докладом на 21-х чтениях, посвященных 100-летию со дня рождения Владимира Ивановича Смирнова. В 2010 г. ему исполнилось бы 100 лет.

Конечно, у Виктора Ивановича было желание провести эти чтения как-то по-особому, торжественно и празднично, в тоже время на высоком научном уровне, и в обсуждении плана работы чтений была выработана следующая схема. Работа чтений продолжалась три дня – с 26 января по 28 января. Два пленарных заседания и затем работа по секциям. В начале были приветствия от разных организаций, затем доклад В.И. Старостина о 37 летней истории руководства кафедрой полезных ископаемых Владимиром Ивановичем, о его роли в развитии рудной геологии, развитии учения о полезных ископаемых и о современном состоянии геолого-генетической классификации месторождений полезных ископаемых. Затем были представлены пленарные доклады лидеров рудной геологии: академиков Н.П. Лаверова, Н.С. Бортникова, Л.Н. Когарко, Ф.П. Митрофанова, Д.В. Рундквиста и других крупных специалистов и в последний день работа по 5 секциям. Одной из них – «Карбонатитовые и кимберлитовые месторождения» руководили академик Лия Николаевна Когарко и я. На этой секции я выступил с докладом «Полигенность природного алмазообразования». К этому времени у нас появились новые данные о новых генетических типах природного алмаза и все это, несомненно, представляло интерес для геологов.

На этих научных чтениях присутствовало около 600 человек из 25 различных организаций. Все было проведено на высоком организационном уровне и с большой теплотой. Ощутимо чувствовалось, что научное наследие Владимира Ивановича имеет огромное значение для специалистов геологических специальностей и имеет будущее на многие десятки, а может быть и сотни лет.

И для меня было огромным счастьем понимать, что я знал этого великого человека, работал с ним на одном факультете, бывал у него в кабинете, разговаривал и советовался с ним, сидел за одним столом на посиделках в квартире у его большого друга Георгия Алексеевича Крутова и даже выпивал по большим праздникам вместе с ним. Это все останется со мной, в моей памяти.



Фото 11. 21 Смирновские научные чтения. Друзья и коллеги по работе слева направо: В.К. Гаранин, А.Я. Ротман, Г.И. Бочарова, В.М. Округин, Г.К. Хачатрян. 2010 г.

Все в моей жизни как-то успокоилось, закономерно развивались научные исследования, регулярно я читал лекции для магистрантов. Я был окружен учениками и, прежде всего Константином, Анжеликой Бовкун, Галей Кriuлиной, Константином Цаликовым, Владимиром Третьяченко, Игорем Шмаковым и многими другими, своими друзьями – В.В. Вержаком, Е.М. Веричевым, Н.Н. Головиным, В.П. Серенко, А.Я. Ротманом, В.М. Округиным и многими другими. Уже стоял на пороге оформления статуса профессора. Для этого мне осталось вывести в свет только еще одного – шестого кандидата геолого-минералогических наук. Перспектива была в этом направлении явно хорошая, я видел уже, что скоро состоится защита кандидатской диссертации Галиной Кriuлиной. Все было спокойно, умиротворенно и впереди просматривалась спокойная жизнь, занятие своим любимым делом на Геологическом факультете МГУ им. М.В. Ломоносова до конца дней своих на этом свете.

Музей и лаборатория

И вот наступил 2010 г., значимый для меня во многих отношениях, который поднял меня еще на одну высокую ступень признания минералогическим сообществом меня как ученого и организатора науки.

Первое, о чем я хотел бы вспомнить, это о защите докторской диссертации Владимиром Ивановичем Кузьминым. Какой же это был изумительный человек. Прежде всего, внешне это был красавец. Высокий, мощный с артистическим талантом вести беседы, говорить, читать доклады. Владимир Иванович – выпускник нашей кафедры минералогии, его у нас все знали, он дружил с Олегом Васильевичем Кононовым, доцентом нашей кафедры, с Галиной Ивановной Бочаровой. Всегда ему были рады Георгий Павлович Барсанов и Георгий Алексеевич Крутов. Мы также его прекрасно знали и смотрели всегда на него восхищенно. Он нам очень нравился. И, конечно, Владимир Иванович был умный специалист, талантливый минералог, да хороший энтузиаст в науке. Он работал в ВИМСе, в отделе Анатолия Ильича Гинзбурга, и при

этом был секретарем партийного комитета института и членом районного комитета КПСС. Его все любили и уважали. При этом он был компанейским человеком, выделяясь своим артистизмом. Всю свою жизнь, работая в ВИМСе, он посвятил изучению научно-методических основ прикладной минералогии, материал по этой тематике у него был огромный. Время от времени у него возникала мысль заняться докторской диссертацией, но как-то не складывалось. В середине 2000-ных он тяжело болел, да и лет уже было много, но мы с коллегами все время настойчиво твердили ему о докторской. И приятно сейчас говорить о том, что Владимир Иванович решился на этот шаг и начал довольно энергично работать над подготовкой материалов к диссертации. По мере работы он увлекся, загорелся и смотрел на свою работу уже как на подведение итогов своего большого жизненного пути. Конечно, Владимир Иванович был мужественным человеком, хотя ему было тяжело, болезни беспокоили его, но виду он не подавал и держался. Работа была сделана, и пришло время защиты, которая состоялась в октябре 2010 г. Блистательно был сделал доклад, блестяще он ответил на все вопросы, решительно вступал в дискуссию. Защита прошла с блеском, и это был еще один большой шаг Владимира Ивановича в этой жизни. Он подвел итоги своей большой работы. Сейчас он и его любимая жена, тоже геолог, уже не так часто выходят в свет, но также бодры духом и оптимистичны. Когда я слышу по телефону его слова: «Здравствуй, Витенька!», мне становится тепло от этих слов и хочется слушать его как можно дольше. Дай Бог этим замечательным людям прожить как можно больше на этом свете.

Отмечу и еще одно дорогое для нашей семьи человека – Бориса Ивановича Пирогова. Господи! Что это за человек! Интеллигент высочайшей пробы, Он и к нам всегда относился с любовью, всегда восторженно и с любовью следит за жизнью Константина и радуется его успехам как ребенок. Борис Иванович – крупный специалист по геологии железорудных месторождений, прекрасный педагог, минералог, профессор, доктор геолого-минералогических наук. Работал в МГРИ и ВИМСе, преподавал. Сейчас, несмотря на возраст, он все также бодр, подтянут, также работает и будет работать, пока будут силы. Дай Бог ему здоровья.

Вот такие люди окружали нас и окружают сейчас, и это счастье, что они относятся к тебе с любовью, а это значит, что и ты как человек должен соответствовать им.

Ну а теперь о повороте в моей размеренной жизни. Он связан с Минералогическим музеем им. А.Е. Ферсмана. В то время, к 2010 г. директором музея была Маргарита Ивановна Новгородова, но так как ей часто нездоровилось, то обязанности директора часто исполняла Светлана Николаевна Ненашева. Маргарита Ивановна – уважаемый в минералогическом сообществе специалист, незаурядная личность с большим авторитетом. Она пришла в Музей в 1996 г. после смерти директора музея Александра Александровича Годовикова. 90-е года были очень сложными для музея, как и в целом для всей страны. И, конечно Маргарите Ивановне пришлось сражаться по всем фронтам за выживание и финансирование вверенного ей музея. На музей в то время нередко смотрели как на лакомый кусочек бизнеса. Кто-то хотел его «прихватизировать», открыть в нем ресторан, просто уничтожить, присоединив его к крупному академическому институту. Приходилось биться на всех фронтах, и при этом развивать музей, что с успехом и делала Маргарита Ивановна.

Минералогический музей Российской академии наук – это историческое и уникальное образование, академический институт. Он ведет свое начало с 1716 г. от Кунсткамеры в Санкт-Петербурге. На протяжении всех лет был в системе отечественной академии наук. Это не только музейное учреждение, но и научно-образовательное. За все 300 лет его развития, несмотря на все трудности, музей поступательно развивался. В 1934 г. вместе с академией фонды музея были перевезены в Москву и размещены в красивейшем здании города – манеже графа Г. Орлова, а со времен Николая I – вся территория Нескучного сада, манежа, дворца графа Орлова и других служебных зданий

относилась к Московской резиденции Императорского Двора. В манеже по праздникам устраивались пышные балы, императорская семья участвовала в них с большим удовольствием.

И музею повезло, что он был размещен в таком здании. Красота минералов подчеркивала красоту здания! Какие здесь были директора, это были выдающиеся ученые и минералоги. Вспомним, М.В. Ломоносова – он был смотритель музея, а сколько сделал для его развития! Все мы помним В.М. Севергина, В.И. Вернадского, А.Е. Ферсмана – это были великие люди!!!

В советское время, после войны, директорами музея были такие выдающиеся ученые, люди с большой буквы – Г.П. Барсанов, Ю.Л. Орлов, В.С. Соболев, А.А. Годовиков, М.И. Новгородова. И мне посчастливилось быть лично знакомым со всеми ними. Г.П. Барсанов мой учитель, научный руководитель моей кандидатской диссертации, Ю.Л. Орлов – крупный специалист по алмазам, мы часто с ним встречались и обсуждали разные вопросы генезиса этого минерала. В.С. Соболева я знал хорошо, но общался достаточно мало. А вот с А.А. Годовиковым мы пересекались часто, он дружил с Галиной Ивановной Бочаровой, хорошо знал Галину. Мы имели неплохие творческие и профессиональные связи с М.Д. Дорфаном, В.И. Степановым и другими сотрудниками музея. В числе сотрудников музея традиционно было много выпускников кафедр геохимического отделения Геологического факультета МГУ, в том числе и кафедры минералогии. Связь между музеем и кафедрой минералогии была постоянной, тесной и творческой.

И получилось так, что Маргарита Ивановна в 2009 г. написала заявление об уходе с поста директора на пенсию, стало пошаливать сердце. В 2010 г. объявили конкурс в академии на вакантную должность директора музея. Назначение директора должно было состояться в декабре 2010 г. на Президиуме РАН, но перед этим должны были быть предварительные выборы сначала в музее, а затем на собрании отделения наук о Земле в РАН. Мне пришлось с января 2010 г. участвовать в беседах с нашими маститыми минералогами, которые обсуждали эту тему, искали достойную кандидатуру. И вот примерно в мае мы с Владимиром Ивановичем Кузьминым обсуждали этот вопрос, который уже начал волновать минералогическую общественность. Надо уже было определяться с кандидатурой, т.к. выборы в музее уже назначили на ноябрь, времени оставалось мало. Разговариваем, обмениваемся мнениями, и вдруг Владимир Иванович говорит мне (потом он мне сказал, что сам не понял, как это произошло) – а не хотел бы я принять участие в конкурсе. Для меня этот вопрос был весьма неожиданным, но я мгновенно вспомнил, что я ведь знал лично всех последних директоров музея, многих сотрудников, и сказал Владимиру Ивановичу, что, если народ захочет, а партия прикажет, то я лягу на рельсы судьбы. Это сказано было в шутку, но тогда я действительно почувствовал желание попробовать поучаствовать в выборах и возможно даже выиграть конкурс.

Летом мне позвонила Светлана Николаевна Ненашева и пригласила меня в музей. Начались смотрины, я встречался с людьми, знакомился с состоянием дел в музее. Конечно, работа директора музея – это престижное дело, но очень ответственное. Я это понимал. Я также чувствовал поддержку большого числа известных минералогов – Н.П. Юшкина, В.С. Урусова, А.С. Марфунина, Ю.Б. Марина, В.И. Кузьмина, Б.И. Пирогова, Г.И. Бочаровой и многих других.

Я прошел все ступени выборной компании, проходил их с большим отрывом от конкурентов и в декабре 2010 г. Президиум РАН утвердил меня в качестве директора Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана. Это, конечно, дало новый мощный импульс развития моей творческой биографии. С 2011 по 2015 г. я возглавлял это учреждение. Это один из крупнейших минералогических музеев Мира, он широко известен в России и за рубежом.



Фото 12. Галина Ивановна Бочарова, ее младшая сестра Эмма и директор Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана в кабинете директора музея. 2013 г.

Главным в моей деятельности было вести дальше музей, развивать его и приводить его постепенно в порядок. Кое-что мне удалось сделать и в 2015 г. я со спокойной совестью передал бразды правления музеем следующему директору – Павлу Юрьевичу Плечову. Это человек Московского университета, профессор кафедры петрологии Геологического факультета, влюбленный в минералы с детства. Я с этого времени перешел на должность научного руководителя музея и выполняю своеобразную роль советника директора музея. Мне это очень нравится, и я охотно этим занимаюсь. С коллективом музея у меня прекрасные отношения. Если бы не возрастные ограничения, наверное, я дальше продолжал бы исполнять обязанности директора. Но надо осознавать то, что не все вечно на этом свете и ко всем изменениям надо относиться спокойно, тем более, что моя новая должность также ответственна, и моя задача на сегодня всемерно способствовать развитию музея в непростых условиях и не очень хорошей экономической ситуации в стране.

Будучи уже директором Музея, через два года после выступления на научных чтениях им. В.И. Смирнова в 2010 г., я снова выступил на чтениях в 2012 г. уже с докладом, посвященным роли личности в истории развития Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана, науки и общества. Для меня это был своеобразный триумф просветителя, признание моих трудов на поприще минералогической науки. Я был счастлив и горд.

В 2013 г. я был награжден орденом «В.И. Вернадский» от имени неправительственного экологического фонда и медалью им. А.Е. Ферсмана Российского геологического общества за большой вклад в развитие геологии и экологии. В том же 2013 г. получил диплом и премию им. А.Е. Ферсмана Президиума Академии наук России за выдающийся вклад в развитие минералогии и геохимии. Это была для меня высочайшая награда, до меня на кафедре ее получил в 1956 г. мой учитель Георгий Алексеевич Крутов, а в музее пока этой награды удостоился только я. Будем надеется,

что в ближайшее время эту награду получит кто-то из специалистов кафедры минералогии или музея.

Особым чувством гордости меня наполняло то, что все вехи моего движения вперед по служебной лестнице и мои творческие достижения видела и знала моя мама - Валентина Николаевна Гаранина. Она жила в Астрахани, уже была в возрасте, была окружена любовью родных и близких, прошла трудную жизнь, в том числе блокаду Ленинграда, но осталась с чувством юмора и интереса к жизни. Она была рада за меня, гордилась мною, и для меня это было самое главное, видеть свою маму счастливой от того, что ее сын достиг таких больших высот.

2012 г. ознаменовался для меня еще одним крупным достижением. На защиту вышла Галина Юрьевна Криулина.

Девушка огромного таланта, фантастической работоспособности, прирожденный педагог с большой буквы. Она попала к нам, когда была студенткой кафедры геммологии в МГРИ и выполняла научные работы под руководством Юлии Петровны Солодовой, известного геммолога СССР и России, в то время заведующей кафедрой геммологии МГРИ. Галина выполняла курсовую работу, и ее руководитель попросила нас помочь ей с материалом. Так Галина стала появляться у нас, но этим дело не ограничилось. Она серьезно подходила ко всем своим обязанностям. Ее увлечение наукой было связано с изучением алмазов, и мы предоставили в ее распоряжение для исследований большие коллекции этого минерала из месторождения им. М.В. Ломоносова. Прекрасно справилась с их изучением, она выступила с большим докладом на производственном совещании в г. Архангельске и отлично защитила дипломную работу. Затем поступила в аспирантуру к Ю.П. Солодовой, но все три года были потрачены впустую, много времени уходило на преподавательскую работу, и тогда она пришла к нам в лабораторию поговорить по душам. Мы ей предложили перейти на работу в МГУ, что она и сделала, поступив в штат нашей в лаборатории.



Фото 13. Астрахань. Моя сестра Наталия Константиновна (слева) и моя мама Валентина Николаевна Гаранина. 2012 г.

В своей работе она по эстафете от Ольги Палажченко и Михаила Копчикова перешла к крупному обобщению оригинальных данных, которые касались алмазов не только Архангельской, но и Якутской провинции. Галя прекрасно защитила кандидатскую диссертацию на Ученом совете по минералогии в феврале 2012 г., стала кандидатом геолого-минералогических наук. Сейчас Галина научный сотрудник, ведет огромную научную и педагогическую работу, растит сына и все успевает сделать. Потрясающая красивая молодая женщина с прекрасным будущим и великолепной перспективой в науке.

Это был мой шестой ученик (кандидат наук), и я подал документы в ВАК на получение ученого звания «профессор» минералогии и кристаллографии и осенью 2012 г. получил диплом профессора. Это было волнительно, судьба ко мне явно благоволила.

Еще хочется остановиться на одном достижении, которое касается кафедры минералогии и нашей лаборатории. В апреле 2016 г. успешно прошла защита докторской диссертации Галины Хачатрян, ведущего научного сотрудника отраслевого института ЦНИГРИ Министерства природных ресурсов России. Галина – выпускница кафедры минералогии, талантливая женщина. Всю жизнь она занималась изучением алмазов, у нее был огромный материал, много раз она думала о докторской, но не решалась на этот шаг. Наконец, надеюсь отчасти и по результатам наших с ней бесед, она приступила к написанию докторской диссертации. Мы ее всегда хорошо знали, сотрудничали, она помогала нашим аспирантам, и мы знали, что она высококвалифицированный специалист. Все прошло прекрасно, и алмазная геология получила нового доктора геолого-минералогических наук. Ее дочь Наташа и мой ученик Сергей Анашкин несколько лет назад поженились, у них прекрасная семья, сын подрастает. К сожалению, Сергей бросил геологию и занимается малым бизнесом, а ведь был хороший минералог.



Фото 14. Галина Юрьевна Крюлина и Виктор Константинович Гаранин на телевизионной передаче в Останкино. 2013 г.



Фото 15. Главный геолог АК «АЛРОСА» (ПАО) Константин Викторович Гаранин, его жена Айна Юрьевна Николяк и научный руководитель Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана, профессор Виктор Константинович Гаранин на съезде геологов России в 2016 г. в Кремлевском Дворце съездов в Кремле.

Будущее

Ну и, конечно 31 января 2017 г. состоялись новые незабываемые научные чтения им. Владимира Ивановича Смирнова, и мы снова говорим о презентации компании «АЛРОСА». Участники чтения составили очень сильный состав, была прекрасная программа.

В программе и мой доклад на тему «Генетические типы природного алмаза». Были обсуждены о новые аспекты природного алмазообразования. Удивительно, но в природе насчитывается уже 12 типов природного алмаза, космические, мантийные, коровые и другие. Свой первый доклад на Смирновских чтениях сделал и Константин Викторович Гаранин. Это для меня был главный подарок в жизни на склоне моих лет. Я безмерно счастлив. Выступил и ветеран компании «АЛРОСА» и алмазной геологии Владимир Миронович Зуев. Был сильный доклад Петра Алексеевича Игнатова, профессора МГРИ, много лет занимающегося проблемами вторичной минерализации кимберлитов и их структурным контролем.

Когда Константин стал главным геологом компании «АЛРОСА», несколько оживились связи Геологического факультета и компании. Наконец-то мы подготовили большое Соглашение о научно-техническом сотрудничестве. Оно датировано 23 мая 2017 года и его положения охватывают все стороны сотрудничества в научной, образовательной, производственной и других сферах деятельности. Это большой шаг вперед, за все время нашей деятельности, начиная с 70-х годов это первый документ, который устанавливает партнерские отношения между Геологическим факультетом и компанией «АЛРОСА».

Это очень крупное достижение и факультета, и компании, которое открывает хорошие перспективы совместной работы на многие годы вперед.

Сейчас на факультете основное сотрудничество с компанией «АЛРОСА» осуществляет лаборатория месторождений алмаза кафедры минералогии и, как и прежде, научным руководителем всех работ являюсь я – профессор, доктор геолого-

минералогических наук В.К. Гаранин. В лаборатории как всегда много студентов, готовят свои работы аспиранты. Лаборатория по-прежнему работает с коллегами с кафедры геологии и геохимии полезных ископаемых, в первую очередь с А.А. Бурмистровым. Студенты кафедры полезных ископаемых и петрологии выполняют свои курсовые и дипломные работы по алмазной тематике. Довольно плотные рабочие контакты у нас и с профессором кафедры петрологии А.В. Бобровым. Мы активно сотрудничаем с институтом экспериментальной минералогии, в частности с профессором Юрием Литвиным, профессором Олегом Сафоновым. И конечно мы в большой дружбе долгие годы со многими сотрудниками института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН. Тесно сотрудничаем с кафедрами Горного университета Санкт-Петербурга. Добрые отношения у нас с Пермским университетом

Наш коллектив все так же активно участвует в конференциях, форумах, научно-образовательных мероприятиях. Мы готовим крупные монографии по алмазам, морфогенезу алмаза и его индикаторных минералов. В сентябре этого года сотрудники лаборатории традиционно представляют результаты своих исследований на 11-й кимберлитовой конференции в Ботсване. Андрей Бобров, Анжелика Бовкун и я будем участвовать в работе этой крупной международной конференции.

Это то, что мы сейчас имеем в сухом остатке после золотых для геологии времен второй половины XX века. Тем не менее, мы также активно работаем с подразделениями и предприятиями группы «АЛРОСА». Планы и перспективы большие и надо только их реализовывать и наращивать по всем направлениям, включая в это движение и другие кафедры нашего факультета.

Перед Вами читатель в этом повествовании прошла большая жизнь одной из лабораторий Геологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. Она не исчезла в 90-е года, она перестроилась, собралась с силами и в XXI веке снова вышла на магистральный путь алмазной науки. Не теряйте силу духа, не опускайте крылья, сцепив зубы покрепче двигайтесь вперед и у Вас будет успех. Я в этом уверен!

ПОЛИГЕННОСТЬ И ДИСКРЕТНОСТЬ – ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ГЕНЕЗИСА ПРИРОДНОГО АЛМАЗА

В статье представлен обзор новейших данных, касающихся важнейших генетических аспектов природного алмазообразования. Необходимо особо подчеркнуть, что с каждым годом число генетических типов природного алмаза растет. Растет и разнообразие пород, в которых обнаружен алмаз, иногда и в больших количествах вплоть до уровня месторождения. Обсуждаются известные на сегодня генетические типы алмаза: космические, метеоритные, импактные, мантийные, метаморфические и др. Представлены морфологические, спектроскопические, изотопические характеристики алмазов, которые прямо указывают на широкий диапазон физико-химических условий образования этого уникального минерала в природе. Познание природы полигенности природного алмазообразования является необходимым инструментом (ключом) к познанию происхождения и эволюции Земли и, как оказывается, планет Солнечной системы и всего космического пространства. Выявлено, что алмаз кристаллизуется не только на определенных этапах эволюции космического пространства, планет земной группы и самой Земли, а также в значительном временном интервале от порядка 11 млрд. лет до нескольких миллионов лет. В некоторых случаях буквально за последние несколько лет как в случае с алмазами современного Толбачинского вулкана (Камчатка, Россия). Диапазон временных реперов большой, и при этом очевидным фактом являются не только множественность гетерогенных источников алмаза, но и достаточно большой диапазон физико-химических условий его кристаллизации. Несомненно, огромную роль в кристаллизации алмаза играли взрывы сверхмощных звезд в космическом пространстве, мощные ударные воздействия при столкновении комет, астероидов и метеоритов с планетами, в том числе и с планетой Земля, мощные флюидные потоки, формирующиеся в недрах мантии, и прочие природные явления, являющиеся источником разного по генезису алмаза.

Вторым важнейшим фактором природного алмазообразования является дискретность в уровнях образования алмаза. Образование алмаза – это с одной стороны процесс в определенной степени непрерывный, но в этом непрерывности внутри проявлена дискретность, обусловленная тем, что алмаз кристаллизуется только на определенных этапах эволюционного процесса и при достижении определенных РТ-параметров и физико-химических условий. Алмаз, по существу, природный маркер некоторых важнейших фундаментальных природных процессов и этим обусловлено пристальное внимание к данному минералу со стороны астрофизиков, химиков, петрологов, минералогов, т.е. специалистов разных научных направлений.

Выявленные бесспорные доказательства полигенности и дискретности образования природного алмаза носят фундаментальный характер и, без всякого сомнения, вносят существенный вклад в разработку новых концепций образования и формирования планет Солнечной системы, в том числе и планеты Земля, в генетические особенности алмазоносных пород, что в свою очередь дает мощный толчок к новым областям применения алмаза в науке и технике.

Введение

Фундаментальные проблемы генезиса природных минералов напрямую зависят от все более и более расширяющегося спектра новых минеральных видов, которые открываются каждый год, от широчайшего диапазона условий их кристаллизации, в том числе и от возможности кристаллизации в пространстве и во времени во всем бесконечном диапазоне космического пространства. Среди всего известного царства

минералов есть уникальные природные образования (минералы), рождение которых отмечено на ранней стадии зарождения планет, в условиях уже сформировавшихся космических тел (планет), кристаллизация которых происходила в разные временные интервалы эволюции этих тел. Таких минералов не так уж и много, и среди них наибольший интерес для нас представляет, несомненно, алмаз. За последние 20-30 лет, в связи с внедрением в технику исследований твердых тел новых уникальных и локальных приборов высокого разрешения, появилась возможность обнаруживать алмаз не только в глубинах космоса, но и в глубинах планет, в частности в глубинах планеты Земля, на которой мы живем.

Результаты этих исследований сопровождаются новыми экспериментальными работами в области алмазообразования с использованием уникальных конструкций для синтеза алмаза в широком диапазоне физико-химических условий, что позволило понять и объяснить многие сложные вопросы генезиса алмаза и алмазоносных пород.

Этот минерал для нас представляет особую ценность в силу генетических особенностей его кристаллизации, неповторимого блеска и сияния бриллиантов (ограненных алмазов), а также в силу широкого спектра возможностей этого минерала с точки зрения применения алмаза в науке и технике.

На сегодня достаточно уверенно можно выделить следующие генетические типы алмаза:

1. Гигантские космические алмазы (белые карлики).
2. Алмаз из метеоритов.
3. Алмаз из импактных структур.
4. Алмаз из метаморфических пород.
5. Алмаз из кимберлитов, лампроитов и мантийных пород.
6. Алмаз из включений в коэситсодержащих хромитах и из хромититов офиолитов.
7. Алмаз из гранатовых пироксенитов, вебстеритов.
8. Графитизированный алмаз из гранатовых пироксенитов расслоенного плутона Бени-Бушера (Марокко)
9. Алмаз из известково-щелочных лампрофиров – минетт
10. Алмаз из коматиитов
11. Алмазы из карбонатитовых комплексов
12. Алмаз в продуктах извержения трещинного Толбачинского вулкана 2012-2013 гг., Камчатка, Россия

Обсудим кратко основные особенности алмаза из выделенных выше генетических типов. Все они изучены с разной степенью детальности, тем не менее, уже имеется достаточно много данных, свидетельствующих о гетерогенных источниках природного алмаза, как во времени, так и в пространстве.

1. Гигантские космические алмазы (белые карлики)

Астрономы из центра астрофизики в Гарварде (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics) обнаружили в 50 световых годах от Земли необычного белого карлика диаметром 4 тысячи километров, состоящего почти полностью из кристаллического углерода (рис. 1). Как утверждают астрономы, при чудовищном тяготении звезды — это именно алмаз. Астрономы назвали эту алмазную звезду «матерью всех алмазов».

Позже астрономы из американских астрономических центров обнаружили в космическом пространстве еще один гигантский космический алмаз. Его открытие стало большой удачей для ученых, потому что отыскать такие звезды очень трудно из-за их низкой светимости

Обнаруженный объект - белый карлик, который состоит из кристаллизованного углерода, – холодного тела размером с Землю, продукта эволюции звезд. По мнению

ученых, космическому алмазу PSR J2222-0137 около 11 миллиардов лет и он ровесник Млечного пути. Обнаружить карлик-алмаз удалось только благодаря наличию у него пульсара, который является быстро вращающейся нейтронной звездой, испускающей "фонтаны" радиоизлучения с полюсов.

Наземным телескопам удалось уловить импульс этих радиоволн. Масса пульсара оказалась в полтора раза больше солнечной, а масса его компаньона – почти в два раза больше, чем у Солнца. Исследователи установили, что белый карлик с нейтронной звездой расположены в созвездии Водолея в 900 световых годах от Земли (рис. 2). Эти уникальные и сенсационные открытия были опубликованы в коротких тезисах интернет-изданий США

Еще одна уникальная находка касается чёрных алмазов (тонкозернистый агрегат микроалмазов) уже на земной поверхности в Либерии недалеко от побережья Атлантического океана, напоминающих простой уголь по виду, которые, по мнению С. Хаггерти, имеют космическое происхождение (рис. 3).

По словам известного американского алмазника-геолога С. Хаггерти из международного университета Флориды, обнаруженный в них в изобилии водород указывает на формирование этих алмазов в богатых водородом областях, то есть — в глубинах космоса.

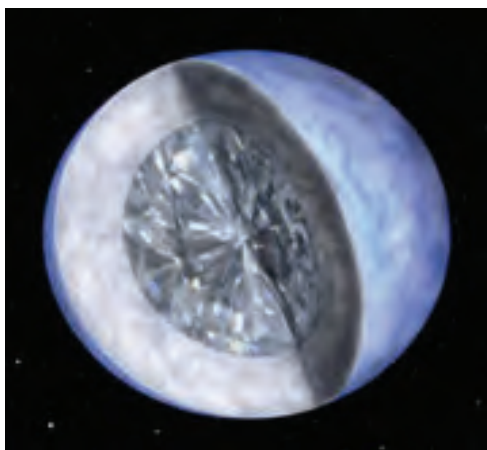


Рис. 1. Схематичная картина белого карлика (алмаза) диаметром 4 тыс. км в разрезе.



Рис. 2. Созвездие Водолея, в котором обнаружен белый карлик - алмаз с нейтронной звездой.

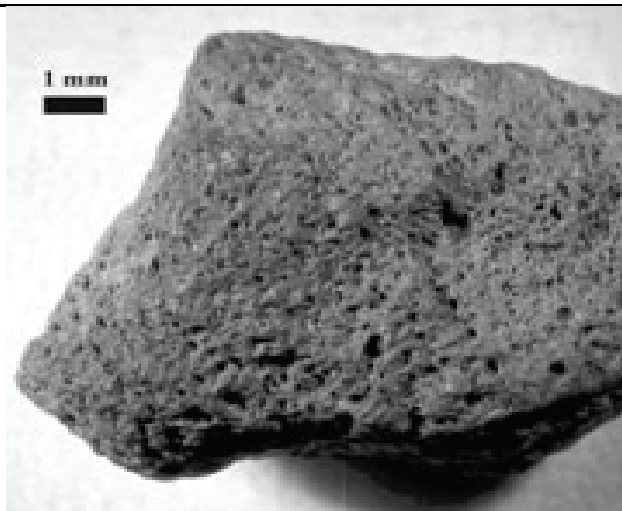


Рис. 3. Фото черного алмаза космического происхождения.

Авторы исследования, в первую очередь С. Хаггерти, предполагают, что чёрные алмазы некогда попали на Землю при падении алмазных астероидов, богатых алмазным веществом, примерно километрового диаметра. А такие необычные небесные камни, в свою очередь, были рождены в процессе взрывов сверхновых. Если гипотеза американских специалистов подтвердится, то окажется, что чёрные алмазы старше не только Земли, но и Солнечной системы. Но это только гипотеза, не более того.

Межзвездные или досолнечные алмазы установлены в космической пыли и все эти находки и крупных тел и микроалмазов в космической пыли – укрепляют наше мнение в том, что в космическом пространстве нас ждут новые открытия новых алмазных тел. Углерод – очень простой по строению элемент и, по всей вероятности, на стадии взрыва новых звезд этот элемент формируется достаточно быстро, что способствует в дальнейшем формированию и наращиванию кристаллической структуры алмаза при высоких значениях температур и давлений. Это, по всей вероятности, происходит на всем протяжении достаточно длительного времени от 11 млрд. лет до 5 млрд. лет и это связано с процессами взрывов сверхновых звезд и рождением новых звезд в тех или иных созвездиях.

Это, конечно, уникальные сенсационные находки. При этом нельзя забывать о том, что особый интерес представляют межзвездные или досолнечные алмазы субмикронных размеров, отнесенные к так называемым наноалмазам, открытие которых и их уникальные характеристики могли быть установлены только с помощью тонких локальных методов изучения микроминералов.

Межзвездные или досолнечные алмазы установлены в космической пыли, а также и в примитивных хондритах (метеоритах, о них речь пойдет ниже в разделе: **Алмаз из метеоритов**). Содержание их в примитивных хондритах около 1400 ppm (1 ppm – 10^{-4} гр.). Они имеют досолнечный возраст (более 4,5 млрд. лет), субмикронные размеры (на уровне десятков ангстрем), что позволяет отнести их к, так называемым, наноалмазам, размер которых менее 1 мкм. Характерная особенность таких алмазов – тесная ассоциация с другими углеродсодержащими экзотическими фазами: карбидом кремния – *муассанитом*, карбидом вольфрама, карбидом циркония и карбидом титана. Они характеризуются аномальным изотопным составом благородных газов. В них обнаружен огромный избыток ^{129}Xe и других *тяжелых изотопов ксенона* — 136, 134 и 132. Концентрация ^{14}N в них оказалась в три раза выше, чем концентрация этого изотопа на Земле. Установленные в этих алмазах соотношения изотопов $\delta\text{C}^{12}/\delta\text{C}^{13}$ до -38‰ близки

к земным коровым значениям изотопов углерода в алмазе, но, несомненно, сформированы из источников, не имеющих биогенную природу.

Основываясь на необычном несолнечном распределении элементов и изотопии редких газов, многие исследователи предполагают, что образование космических наноалмазов происходило в результате конденсации из газовой фазы в высокоэнергетической плазме при взрыве сверхновых звезд. Предполагается, что рост алмазов в условиях космического вакуума происходит по **CVD-механизму** (высокотемпературной конденсации из газовой фазы при низком давлении), который является одним из самых прогрессивных современных методов синтеза алмазов на заправке (Lewis et al., 1989). Здесь мы особо обращаем внимание на образование подобных алмазов при высоких температурах при незначительных значениях давлений.

Известно, что часть микроалмазов, экстрагированных из метеоритов, близки по форме к CVD-алмазам. Многие из них не содержат лонсдейлита, и для них предполагается именно этот механизм роста при высокотемпературной конденсации из газовой плазмы.

Считается, что досолнечные наноалмазы, образованные при изотропном гомозпитаксиальном росте (**CVD-механизм**), могут представлять значительную составляющую межзвездной пыли, и их формирование связывается с интенсивным воздействием ультрафиолетового радиационного воздействия на частицы космической пыли при рождении сверхновой, либо на частицы углеродистых звезд.

2. Алмаз из метеоритов

В настоящее время значительные успехи в изучении алмазов из метеоритов получены прямыми наблюдениями структуры природных микроалмазов и их синтетических аналогов, полученных при взрывном высокобарическом и низкобарическом их образовании, методом высокоразрешающей электронной микроскопии (Daulton et al., 1996).

Алмазы досолнечной природы и более поздние могут быть распознаны на основе их кристаллического внутреннего строения. Для досолнечных алмазов размером менее 26 нм характерны пятизвездчатые циклические структуры двойникового по (110), тогда как для более поздних и более крупных алмазов из метеоритов наблюдаются двойники по шпинелевому закону или более сложное полисинтетическое двойникование по плоскости (111), а также присутствует высокобарная фаза – политип алмаза 2H – лонсдейлит.

На сегодня установлено, что в метеоритах могут присутствовать межзвездные досолнечные (о них уже упоминалось выше) алмазы нескольких популяций, а также образованные при падении метеорита на поверхность Земли вследствие воздействия ударной волны на земную поверхность. Многие находки показывают, что возможен особый механизм образования алмазных фаз при падении на Землю метеоритов. Смешанный механизм роста в газовой плазме, образованной в результате удара метеорита, предполагается для кубооктаэдрических алмазов без примеси лонсдейлита, найденных в кратере Баррингер (США, Аризона). В других случаях доказывается ударное происхождение алмазов в метеоритах. Например, некоторая часть алмаза в железных метеоритах ассоциирует с гексагональной модификацией – лонсдейлитом, что является весомым аргументом в пользу ударного происхождения определенной части алмазов из этих метеоритов. При этом ударные воздействия на метеориты возможны в космическом пространстве. В известном метеоритном поясе возможны соударения метеоритов друг с другом. При столкновении метеорита с поверхностью Земли также имеет место соударение метеорита с земной поверхностью, и при этом может происходить рост алмаза из газовой плазмы при высоких температурах и давлениях. Это прекрасно известно и изучено.

Таблица 1. Типы метеоритов, характеристика алмаза и минеральные ассоциации в них.

Тип метеорита. Характеристика алмаза	Минеральные ассоциации
Железные метеориты Алмаз образует мелкие редкие кристаллы менее 1 мм (редко до 5 мм) кубической, октаэдрической или кубооктаэдрической форм.	Породы сложены камаситом (Fe, Ni), тэнитом (Fe, Ni) и их сростаниями. Содержат графит (C), алмаз (C), псевдоморфозы плотного графита по алмазу (клифтонит), хромит (Fe,Cr ₂ O ₄), шрейберзит ((Fe,Ni) ₃ P), добреелит (Fe,Cr ₂ S ₄), когенит ((Fe,Ni) ₃ S), муассанит (SiC), троилит (FeS) и силикатные включения в виде хондр.
Уреилиты Кубооктаэдрические кристаллы алмаза размером 20-40 мкм (редко до 60 мкм).	Породы сложены магнезиальной пироксен-оливиновой фазой и углеродистым, богатым самородным железом (камаситом), алмазным веществом. Также присутствуют добреелит, троилит, муассанит, когенит и перриит (Fe,Ni) ₅ (Si,P) ₂ .
Хондриты Кубооктаэдрические кристаллы алмаза размером 20-40 мкм (редко до 60 мкм).	Породы сложены оливиновыми, пироксеновыми, пироксен-плаггиоклазовыми хондрами в никель-железной матрице. Алмаз в парагенезисе с муассанитом и графитом приурочен к никель-железной матрице.

На сегодня алмазная минерализация выявлена в железных метеоритах, уреилитах и хондритах (Таблица 1), т.е. во всех основных типах метеоритов. Эти находки явились мощным стимулом к изучению метеоритов, в том числе и алмазоносных, что привело к разным идеям и гипотезам по поводу образования метеоритов и генезиса алмазов в них.

На сегодня генезис алмаза в метеоритах остается дискуссионным. Магматическая природа алмазов из метеоритов успешно доказывается академиком А.А. Маракушевым с учениками (1995, 2003). Однако существуют и другие точки зрения, развиваемые в нашей стране школой геологов ГЕОХИ РАН и МГУ (Вальтер, Фисенко, 1991; Ульянов, 1997; Фисенко, Семенова, 2005 и др.), в которых обосновывается идея, что алмазы образуются в межзвездной среде до образования протопланет.

Вероятнее всего, по нашему мнению, истина лежит по середине между этими крайними точками зрения. Как нам представляется, имеет место быть и магматическая природа алмаза, и в результате ударных воздействий, и при образовании протопланет. При этом подчеркнем, что дальнейшие шаги по изучению космических алмазов приведут нас, несомненно, к новым данным и точкам зрения на природу этих уникальных образований.

По А.А. Маракушеву парагенезис алмаза с камаситом и тэнитом в метеоритах – универсальный признак, свидетельствующий о необычно восстановительной среде алмазного парагенезиса. Это доказывается микровключениями самородного кремния и алюминия в зернах камасита и тэнита. Очень важно отметить, что алмазы метеоритов имеют солнечный возраст (порядка 4,5 млрд. лет)

Таким образом, метеориты – важнейшие природные объекты, позволяющие раскрыть тайны формирования планет солнечной системы на самых ранних этапах эволюции материнских планет метеоритов.

3. Алмаз из импактных структур

Астроблемы (звездные раны Земли, по образному выражению американского геолога Р. Дитца) – это особые геологические структуры (кратеры, воронки, лунки), сформированные при падении космических (метеоритных) объектов на Землю. При мощном воздействии космического тела на поверхности Земли внутри кратера формируются продукты взрыва – **импактиты** – особые метаморфические породы, в которых среди высокобарических и высокотемпературных минералов образуется алмаз. В момент удара давление на породы может достигать нескольких гигапаскалей, а температура – десятков тысяч градусов.

Впервые в России алмазы в импактитах были найдены В.Л. Масайтисом с сотрудниками в гигантском кратере Попигайской структуры на севере Сибирской платформы в 900 км восточнее г. Норильска диаметром 100 км и возрастом $35,7 \pm 2$ млн. лет (Фельдман, 1999). Необходимо отметить очень высокое содержание алмазов в этой структуре, вплоть до промышленного содержания (10-50 кар/т). По мнению В.Л. Масайтиса в Попигайской кольцевой структуре алмазов по содержанию столько, сколько во всех алмазных месторождений Якутии. Алмазы из импактитов (рис. 4) мелкие, неправильной формы мутноватые зерна небольших размеров (0,1-300 мкм), редко до 1 мм, имеющие облик обломков. Для них характерна отчетливая анизотропия. Практически во всех зернах алмаза импактного происхождения обнаруживается гексагональная модификация углерода – лонсдейлит. Это полифазные агрегаты лонсдейлита с примесью графита, или сростки алмаза, лонсдейлита и графита, или алмаз с лонсдейлитом. Алмазы из импактитов – это поликристаллические образования. Микрокристаллы в этих образованиях имеют форму вытянутого овала.

Цвет меняется от бесцветных и бледно-желтых (лонсдейлита менее 5 об.%) до серых и коричневых (лонсдейлита 20-25 об.%), смоляно-черных (лонсдейлита до 50 об.%), черных и непрозрачных (алмаз, лонсдейлит (20-30 об.%), графит (40-50%).

Вероятно, алмаз в импактитах образуется одновременно с этими породами при воздействии высоких температур и давлений, возникших в углеродсодержащих породах земной поверхности при соударении с космическим телом. При падении метеоритов со скоростью более 4 км/с ударная волна создает быстрый подъем давления и температуры, что вызывает преобразование окружающих пород, в которых происходит плавление, твердофазные переходы минералов, пластические деформации и испарение вещества. Это все следствия импактного метаморфизма, признаки которого отражаются на структурных особенностях минералов (появление двойников, образование минеральных фаз высокого давления: стишовита и коэсита - полиморфных модификаций SiO_2 , алмаза, вероятно и рингвудита-оливина со структурой типа шпинели). В 70-е годы эти алмазы пытались применить в качестве абразивного материала, шлифовальных паст и порошков, но неудачно, поскольку присутствие гексагонального полиморфа в алмазах придает зернам этого минерала анизотропию и уникальную твердость в одном из направлений в алмазе. Освоению месторождения, в значительной степени, препятствует отсутствие инфраструктуры, а также успехи в синтезе алмазов с подобным характером внутренней структуры.

Импактные алмазы по многим своим особенностям резко отличаются от алмазов из других типов пород. Импактные алмазы не содержат азот, изотопно-легки и характеризуются достаточно выдержанным диапазоном $\delta^{13}\text{C}$ от -9,9 до -18,7‰, обогащены радиоактивными (уран, торий) и редкоземельными (РЗЭ) элементами. Характерны преимущественно силикатные наросты (стекла плавления разнообразного состава), сингенетические и эпигенетические графит и кварц, вроски пирита, пирротина, ильменита и включения гематита и кристобалита. Содержание примесей в алмазе на 2-3-три порядка выше по сравнению с алмазами из кимберлитов. Наиболее типичны Si, Fe, Mg.

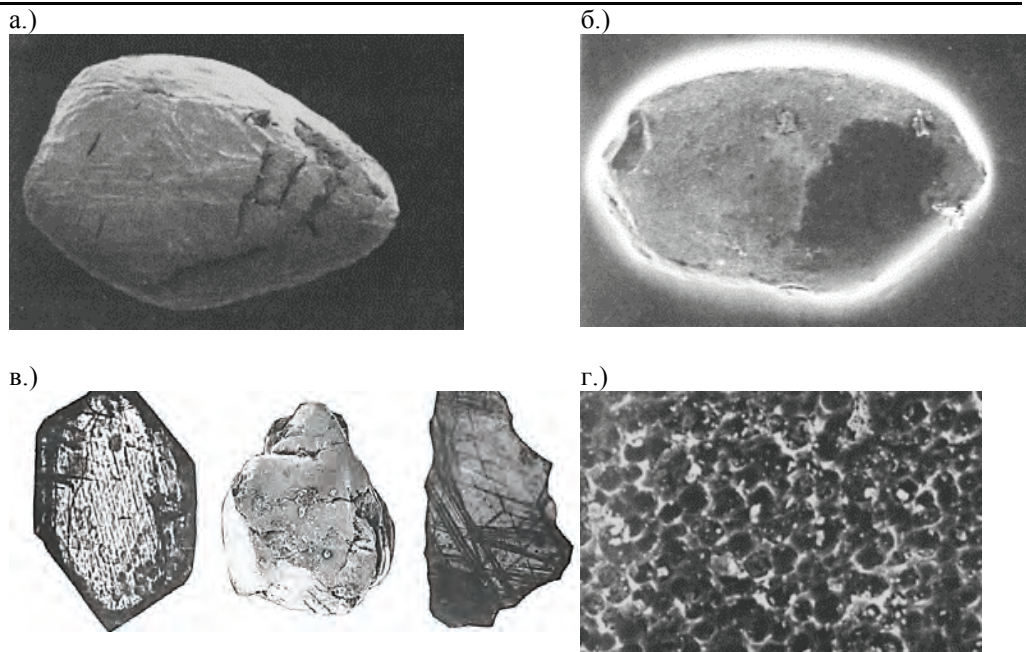


Рис. 4. Морфологические особенности импактных алмазов: а – облик аллотигенных кристаллов; б – форма аутигенных кристаллов с размером зерен 0,3-0,5 мм; в – некоторые примеры разнообразных форм алмазов; г – микроструктурное строение поверхности кристалла алмаза при больших увеличениях (в 1 см – 1 мкм).

Ударный метаморфизм как причина образования астроблем доказан вполне определенно. Однако многие кольцевые структуры на поверхности Земли, Луны и других планет могут представлять собой вулканические кальдеры или другие депрессии. Эту точку зрения активно развивает А.А. Маракушев (Маракушев, Бобров, 2005), который считает, что взрывные алмазоносные породы (тагамиты, зювиты и др.) генетически связаны с платформенными депрессиями (т.н. «астроблемами»). Взбросы корового материала обусловлены глубинными флюидными взрывами огромной мощности, что и приводит к образованию алмаза. Пока до конца не решен вопрос, в какой мере взрывные явления, сопровождающие вулканизм, могут имитировать проявления ударного метаморфизма.

Еще интересный момент. Ко многим астроблемам могут быть приурочены магматические образования, хотя подобная связь еще недостаточно изучена. В этом отношении представляет интерес гигантский медно-никеленосный лополит Седбери в Канаде, приуроченный к структуре эллипсоидной формы.

4. Алмаз из метаморфических пород

Метаморфические породы – весьма распространенные породы в земной коре. Уместно даже сказать, что практически все земные породы от мантийных до коровых изменены, метаморфизованы в той или иной степени с той или иной глубиной и масштабом изменения в зависимости от РТ-условий. Изучение многих вопросов геологии, петрологии, геохимии и минералогии этих пород – самостоятельное направление в области исследования Земли. Интерес к этим породам в настоящее время подогрев находками алмазов в метаморфических породах различных регионов Мира.

В данном случае мы рассматриваем коровые метаморфические породы высоких степеней метаморфизма, образованные при высоких РТ-параметрах.

4.1. Раннеархейские алмазы в цирконе из метаосадочного пояса Джек Хиллз кратона Йилгарн, Западная Австралия

Обнаружены истертые цирконы с включениями микроалмазов с возрастом более 4 млрд. лет в метаосадочном поясе конгломератов Джек Хиллз кратона Йилгарн, Западная Австралия (Menneken et al., 2007). Возраст формирования цирконов определен от $3,058 \pm 7$ до $4,252 \pm 7$ млрд. лет. Возраст цирконов определен U-Pb датировкой с помощью ионного микрозонда высокого разрешения (SHRIMP II). Данные цирконы – наиболее древние из идентифицированных фрагментов земной коры. Цирконы обогащены легкими редкими элементами и имеют невысокую температуру кристаллизации.

Алмазные включения размером 3-50 мкм идентифицированы методом Рамановской спектроскопии в 45 цирконах в ассоциации с графитом, апатитом и кварцем. В цирконах, кроме этих минералов, найдены ксенотим, монацит, рутил, биотит, амфибол, К-полевой шпат, плагиоклаз.

Это самые древние алмазы, обнаруженные в земных породах, и они позволяют по-новому взглянуть на происхождение цирконов и эволюцию пород ранней Земли. Обратим внимание на тот факт, что возраст мантийных алмазов, определенный по гранат-пироксеновым датировкам, порядка 3-3,5 млрд. лет.

Разброс в датировках возраста цирконов показывает, что условия, необходимые для образования данного генетического типа алмаза, неоднократно повторялись в течение истории развития Земли даже на этом раннем ее этапе развития, и это отражает цикличность и в определенной степени дискретность образования древних алмазов.

Минералогические особенности этих алмазов, ассоциации с графитом, характеристики Рамановских спектров свидетельствуют о том, что эти алмазы могли быть сформированы в условиях высокобарического метаморфизма, и предполагают взаимосвязь образования мощной континентальной литосферы с корово-мантийным взаимодействием в период ранее, чем 4250 млн. лет. Это очень весомое доказательство более древнего формирования коры по сравнению с теми предыдущими данными, которые предполагали более молодое образование коровых пород на уровне более позднем по сравнению с 4 млрд. лет. Уверены, что мы находимся на этапе новых данных формирования ранней коры и, как нам представляется, – это был сложный многоэтапный процесс, в котором предстоит разобраться более основательно.

4.2. Алмазоносные гнейсы различных регионов Мира как источники природных алмазов

Приведем краткую сводку по находкам кристаллов алмаза в метаморфических породах разных регионов Мира. Они имеют важнейшее генетическое значение при работе над гипотезами образования алмаза метаморфических пород. Несомненно, что определяющими при этом являются геолого-тектонические данные района нахождения этих пород и результаты изучения алмаза и включений в нем флюидов и твердых фаз.

Необходимо подчеркнуть, что речь идет о находках алмаза в метаморфических породах разных регионов мира. При этом обращаем внимание на тот факт, что в подавляющем большинстве случаев в этих породах обнаружены микроалмазы, и это является типоморфным признаком алмаза из данного типа пород независимо от того, в какой части света находятся эти породы.

Находки микрокристаллов (15-700 мкм) алмаза описаны в фельзитовых гнейсах в зоне континентальной коллизии в Норвегии (возраст пород 375-420 млн. лет), в Родопах северной Греции (3-8 млн. лет), в области Саксонии, Германия (340 млн. лет)) и в Даби-Шань и Су-Лу, Китай (210-250 млн. лет).

Гипотеза метаморфизма коровых пород при ультравысоких давлениях (УНР) при субдукции возникла в конце 70-х, когда она была предложена для объяснения происхождения клинопироксеновых (безоливиновых) эклогитов габброидного состава в

Норвегии. Возможность погружения корового материала на глубину 85-95 км была обоснована находками коэсита в этих породах, образование которого соответствует давлениям 26-30 кбар при $T=1100^{\circ}\text{C}$. Позднее глубины погружения корового материала при субдукционных процессах были расширены до 150 км, что соответствует давлениям 31-45 кбар при $T=600-1100^{\circ}\text{C}$. В настоящее время предполагается и более глубинное погружение коровых пород при субдукции на глубины более 200 км. в зоны переходной и нижней мантии.

4.2.1. Алмазоносные эклогиты и метапилиты провинции Родоп северной Греции

В работе Е. Мроскоса и Д. Костопоулоса (Mposkos, Kostopoulos, 2001) описана находка включений алмаза и кварца (бывшего коэсита) в гранате, а также ассоциации кварц+рутил+апатит в Na-содержащем гранате из эклогитов и метапилитов (гранат-биотит-кианитовые гнейсы) метаморфической провинции Родоп (МПР) в Северной Греции, образование которых, по их мнению, происходило при ультравысоких РТ-параметрах ($P=70$ кбар при $T=1100^{\circ}\text{C}$). МПР занимает значительную площадь, располагаясь на территории Югославии, Болгарии и Греции. Массивы МПР сложены амфиболитами с телами эклогитов, пара- и ортогнейсами и сланцами амфиболитовой фации с присутствием на отдельных участках мигматитов и мраморов и прорываются огромными интрузиями гранитов. Работами последних лет показано, что формирование МПР связано с периодом альпийской активизации окраины (3-8 млн. лет). До последнего времени оценка давлений в породах МПР давала значения 12-19 кбар. Однако недавние находки графитизированных алмазов в этих породах позволяют предполагать более высокие давления при формировании МПР в ее центральной и восточной частях.

Минералого-петрографическими исследованиями метаморфических пород Греческих Родоп установлено наличие микроалмазов, сходных с теми, что типичны для месторождения алмазов Кокчетавского массива Казахстана (о них речь пойдет ниже в разделе 4.3). Диагностика графитизированных микроалмазов выполнена с использованием метода рамановской спектроскопии, с использованием которого в гранате установлены микровключения кварца с розетками трещин, ранее соответствовавшего высокobarическому минералу коэситу.

В гранате из изученных метаморфических пород, пересыщенном кремнеземом, с повышенным содержанием Na (0,60 мас.% Na_2O), Ti (1,03 мас.% TiO_2), P (0,33 мас.% P_2O_5), обнаружены также включения рутила и апатита, что свидетельствует об его исходном мейджоритовом составе.

На основе выполненных минералого-петрографических исследований метаморфических пород Греческих Родоп Е. Мроскосом, Д. Костопоулосом (Mposkos, Kostopoulos, 2001) сделан вывод об их формировании при ультравысоких давлениях при субдукции корового материала на глубины до 230 км. При этом подчеркивается аналогия как в ассоциации минералов, так и в геологических коллизиях данных пород с метаморфическими породами Кокчетавского массива Казахстана (см. ниже раздел 4.3).

4.2.2. Алмазоносные кварц-фельдшпатоидные породы Саксонии

В Саксонии (Германия) обнаружена находка микроалмазов и ассоциирующих с ними минералов во включениях в гранатах из кварц-фельдшпатоидных пород Эрцгебирге (Саксония, Германия), сформированных при ультравысоких давлениях (Hwang et al., 2001). Диагностика минералов выполнена методом аналитической электронной микроскопии и рамановской спектроскопии. Окончательная консолидация массива кварц-фельдшпатовых пород Эрцгебирге с алмазоносными гнейсами произошла на возрастном этапе коллизии в позднее девонское время (порядка 340 млн. лет).

В гранатах, кроме включений микроалмазов, указанными методами установлены флогопит, парагонит, апатит, кварц (бывший коэсит) и второстепенные реститовые фазы рутила и циркона. Также обнаружен аморфный Na-Al-силикат и халькофильные фазы ZnS , NiAs , ассоциирующие с алмазом.

На основе выполненных исследований сделан вывод о формировании алмаза и ассоциирующих с ними минералов непосредственно из расплава эклогитового состава.

Образование микровключений в гранате связано с субсолидусными реакциями и распадом исходного мэйджоритового граната.

Сидерофильные и халькофильные элементы как катализаторы играли существенную роль при зародышеобразовании алмаза. Существенное каталитическое влияние оказывают щелочные элементы (прежде всего, K) при росте октаэдрических кристаллов алмаза. Состав исходного силикатного расплава оценивается как следующий: 62% SiO₂, 16% Al₂O₃, 8% MgO, 3% FeO, 3% K₂O, 2% Na₂O, 2% CaO, 2% P₂O₃, 1% TiO₂ с участием сидерофильных и халькофильных элементов.

Предполагается, что образование алмазосодержащих пород связано с частичным плавлением биотитовых гнейсов при субдукционных процессах при T=1000°C и давлениях 4-6 ГПа, что подтверждается также находками включений фазы TiO₂ со структурой типа α-PbO₂ в гранатах.

4.2.3. Микроалмазы из эклогитов регионов Даби и Су-Лу центральной части восточного Китая

Обнаружено более 10 микроалмазов in situ в прозрачных шлифах из Даби и Су-Лу (Xu et al., 2005). Первая находка микроалмазов в эклогитах гор Даби была описана в 1992 г. В настоящее время микроалмазы установлены в эклогитах не только центральной, но и северной части гор Даби. Схема геологического строения Восточно-Китайского протерозойского складчатого пояса Циньлинь-Дабишань-Сулу показана на рис. 5.

В эклогитах из эклогитовых и эклогит-клинопироксенит-перидотитовых интрузивов и обнаружены микрокристаллы алмаза (рис. 6). Большинство кристаллов приурочено к включениям в гранатах (30-150 мкм), но более крупные из них до 400-700 мкм тяготеют к межзерновому пространству алмазоносных эклогитов.

В ассоциации с микроалмазами установлены циркон, коэсит, графит, муассанит. Высокобарность микроалмазов подчеркивают структуры распада в гранатах гроссуляр-андрадитового ряда, тельца распада которых представлены рутилом, апатитом и клинопироксеном, ориентированных по {111} граната. Первичный гранат до выделения телец распада представляет собой гранат с мэйджоритовой компонентой. Отметим, что в случае и в Родопах северной Греции, и в области Саксонии, Германия имеет место быть пересыщенный кремнием гранат с мэйджоритовой компонентой в качестве матрицы для микровключений алмаза. Это очень важный типоморфный признак алмазоносных метаморфических пород. Напомним, что пересыщенный кремнием гранат с мэйджоритовой компонентой получен экспериментально в пелитовой системе при 7 ГПа и T=1100°C (Ono, Yasuda, 1886). Диагностика микроалмазов выполнена методами комбинационного рассеяния и ИК-спектроскопии.

Кристаллы принадлежат к смешанным типам IaA и IaB. В них обнаружены вода, CH₂- и CH₃-, а также связи C=O. Все алмазоносные эклогиты района Даби обнаруживают родство с континентальными отложениями, что подчеркивается отрицательными значениями εNd. Для алмазоносных эклогитов предполагается глубинное происхождение, связанное с процессами субдукции и образованием алмазов при 7 ГПа и температуре T=1000°C (Xu et al., 2005).

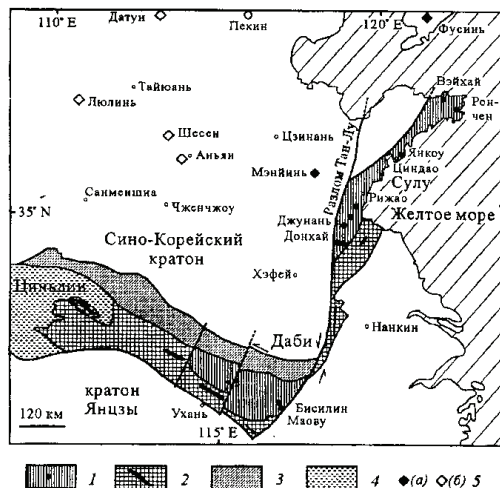


Рис. 5. Схема геологического строения Восточно-Китайского протерозойского складчатого пояса Циньлин-Дабешань-Сулу: 1 – орогенная амфиболит-гнейсово-мигматитовая зона с реликтовыми фрагментами эклогитовых и эклогит-клинопироксенит-перидотитовых интрузивов (наиболее крупные из них показаны черными кружками), повсеместно интродуцированная мезозойскими гранитами; 2 – амфиболит-сланцевая зона с проявлениями глаукофанового метаморфизма (наиболее интенсивные выделены черными линзами); 3 – наложенная сланцевая зона; 4 – постпротерозойское перекрытие; 5 – алмазные (а) и неалмазные (б) кимберлиты. (Из работы А.А. Маракушева и др., 2003).

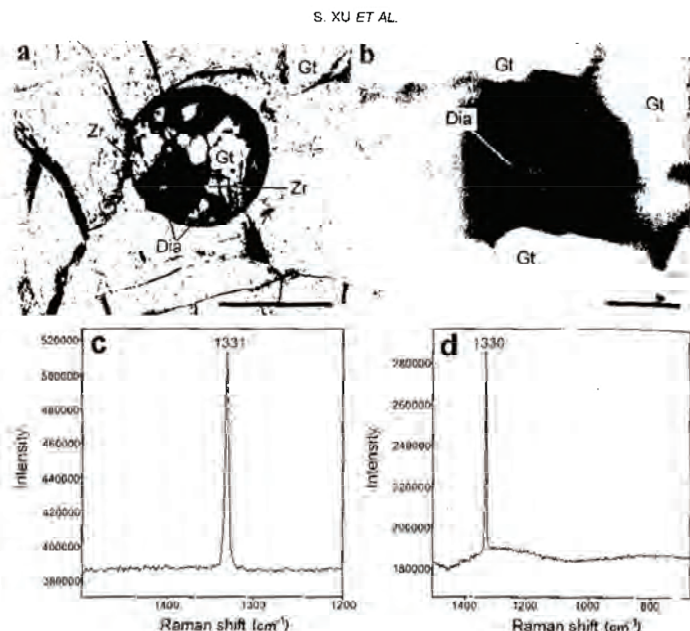


Рис. 6. Микрофотография микроалмазов из эклогитов Маобей региона Су-Лу, Китай (Xu et al., 2003). Шкала на фотографиях – 100 мкм. Микроалмазы образуют включения в гранатах: а) гранат обр. 8002-1; в) гранат обр. 8002-2. Рамановские спектры алмазов приведены на рис. с) для обр. 8002-1; д) для обр. 8002-2. Gt – гранат; Zr – циркон; Dia – алмаз

Другую точку зрения формулирует академик А.А. Маракушев (Маракушев и др., 2003), который считает, что эклогиты Восточно-Китайского складчатого пояса являются мантийными магматическими породами, существенно переработанными и метаморфизованными в процессе длительного многостадийного преобразования. Совместно с вмещающими породами они подвергались складчатости, метаморфизму, процессам гранитизации и мигматизации. В этом процессе эклогиты, гранатовые пироксениты и перидотиты подверглись процессу замещения мигматитами и гранитогнейсами, которые и наследовали их высокобарную минерализацию. Эта точка зрения может быть, по мнению А.А. Маракушева, универсальной и приложена к другим алмазоносным метаморфическим породам, приуроченным к орогенным поясам, например, месторождению Кумды-Коль, алмазоносным эклогитам и метапиритам провинции Родоп северной Греции и др.

4.2.4. Алмазы из рутил-сфеновых эклогитов эклогитов Приморья и друзит-эклогитовых породах Прибайкалья

Завершая экскурс в историю обнаружения, геологической позиции и особенностей петрологии и минералогии алмазоносных метаморфических пород, напомним очень кратко о некоторых находках микроалмазов в Приморья (Туговик и др., 1986) и в друзит-эклогитовых породах полосчатых офиолитовых комплексов Прибайкалья (Бирюков, Косыгин, 1989).

В первом случае, согласно геологическим данным, эклогиты входят в состав нижнеархейского гранулитового комплекса, но, по мнению исследователей алмазов из этих пород (Туговик и др., 1986), они имеют мантийный генезис, судя по находкам алмазов, их морфологии и физических свойств. Алмазы имеют размеры 0,5-0,6 мм и относятся к тетрагексаэдроидам прозрачным с голубоватым оттенком или матовой зеленой поверхностью. Для них характерно повышенное содержание азота в форме двух замещающих атомов N_2 ($5 \cdot 10^{18} + 5 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$).

Во втором случае акцессорные алмазы найдены в друзитовых эклогитах, которые вместе с гранатовыми амфиболитами пространственно и генетически приурочены к раннепротерозойскому полосчатому офиолитовому комплексу. Друзит-эклогиты и продукты их изменения располагаются в осевой части линейных тел габброидов и габбро-перидотитов. Из проб друзитовых эклогитов было извлечено три десятка мелких (0,04-0,08 мм) зерен кристаллов алмаза зеленовато-желтого цвета. Все они представляют собой кубы более или менее совершенной формы. Исследователи этих алмазов (Бирюков, Косыгин, 1989) считают, что они генетически связаны с высокотемпературными метаморфогенными эклогитами.

4.3. Алмазоносные метаморфические породы Кокчетавского массива (Казахстан)

Мощным толчком к изучению метаморфических пород и их алмазоносности послужило открытие коренного месторождения алмазов в Казахстане в 1977 г. Оно расположено вблизи оз. Кумды-Коль и приурочено к метаморфическим породам зерендинской серии нижнего протерозоя (520-530 млн. лет), залегающим в основании разреза фундамента Кокчетавского срединного массива (Лаврова, 1991). Позже было выявлено дополнительно рудопоявление Барчи-Коль (Pechnikov, Kaminsky, 2008). Оба они локализованы в пределах западной части метаморфического пояса, обрамляющего центральную часть Кокчетавского массива.

Рудная (алмазоносная) зона имеет протяженность 1300 м и мощность от 40-60 м до 180-200 м северо-западного направления. Наиболее высокие содержания алмазов установлены в биотит-гранатовых гнейсах, которые формируют около 80% алмазной зоны. Кроме гранат-биотитовых гнейсов, алмазоносными являются и еще 4 типа пород: силикатные мрамора; тремолит-хлорит-кварцевые породы; среднезернистые и гигантозернистые гранат-пироксеновые породы (эклогиты).

Распределение алмазов в породах неравномерное, линейные богатые алмазом зоны чередуются с неалмазоносными. Установлена связь концентрации алмазов со степенью графитизации, метасоматоза, пиритизации и тектоническими нарушениями. Количество алмазов возрастает к контактам с интрузиями гранитов. Средние содержания составляют 23,43 карат на тонну, достигая в отдельных зонах свыше 100 карат на тонну, что на порядок выше содержаний алмазов в большинстве высокоалмазоносных кимберлитовых трубок мира. Утвержденные запасы для месторождения Кумды-Коль – 1000 млн. карат. Размер кристаллов алмаза 15-150 мкм.

Алмазы из метаморфических пород месторождения Кумды-Коль обладают рядом типоморфных особенностей. Алмазы обнаружены не только в межзерновом пространстве, но и в породообразующих минералах. Алмазы размером около 12 мкм и коэзит сохранились внутри гранатов и цирконов (Варламов и др., 1987; Sobolev, Shatsky, 1990). Алмаз находится в тесной парагенетической связи с графитом. Содержание графита в породах колеблется в пределах 0,3-10%. В алмазоносных породах отмечается повышенное содержание углекислоты, метана и других углеводородов.

Минерал представлен, главным образом, кубическими (рис. 7), скелетными (рис. 8) и сфероидальными кристаллами зеленовато-желтого и желтого цвета, хотя есть и октаэдры. Для них характерно неомогенное зонально-секториальное строение, высокое содержание примеси азота: $5,9 \times 10^{18} - 1,8 \times 10^{21} \text{ см}^{-1}$, что позволяет относить алмазы из Кокчетавского массива к типу Ib-IaA. Степень его агрегации 14-75 % (Ситникова, Шацкий, 2009). Абразивные свойства этих алмазов в 1,5 раза выше, чем алмазов из кимберлитов. Узор двупреломления метаморфогенных алмазов преимущественно крестообразный, реже пятнистый. Метаморфогенным алмазам свойственна неравномерная преимущественно пятнистая поверхностная эпигенетическая графитизация, а сингенетические вроски графита редки.

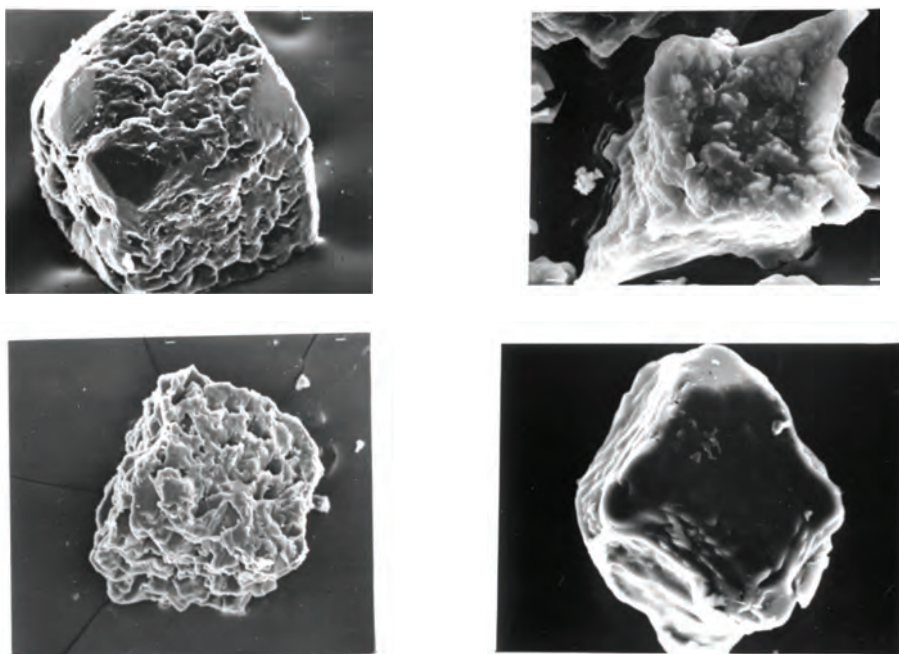


Рис. 7. Кубические микрокристаллы алмаза из месторождения Кумды-Коль, увел. 1000^x. Растровые электронные микрофотографии, изображения во вторичных электронах

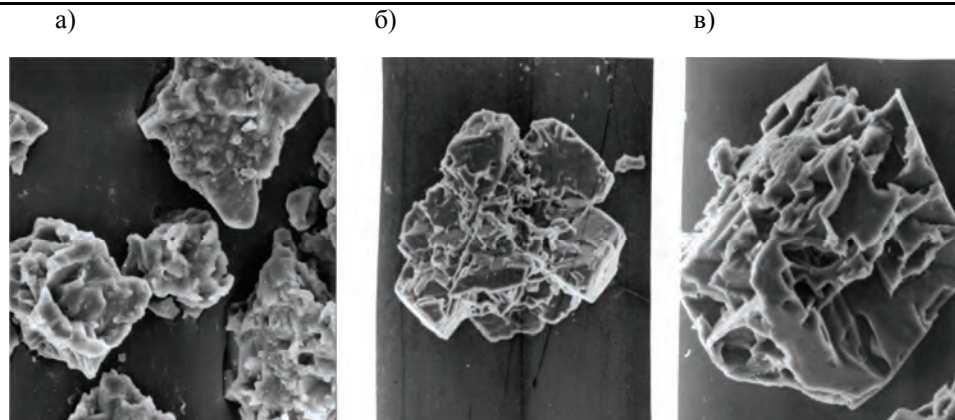


Рис. 8. Скелетные кристаллы алмаза из метаморфических комплексов Кокчетавского массива. Увел. 500^x (а) и 1500^x (б, в). Растровые электронные микрофотографии, изображения во вторичных электронах.

Метаморфогенные алмазы являются изотопно-легкими и характеризуются диапазоном $\delta^{13}\text{C}$ от -27,0 до -8,9‰. Изотопный состав графита близок к составу алмазов и составляет $\delta^{13}\text{C} = -19,6\text{‰} \div -10,3\text{‰}$. По качественному составу элементов-примесей метаморфогенные алмазы сопоставимы с кимберлитовыми, но по количественному заметно разнятся. В них на порядок выше содержание кремния, алюминия, титана, ванадия, железа, сурьмы, мышьяка, золота, на два порядка — хрома, кобальта, марганца, РЗЭ (Надеждина и др., 1993).

Существующие концепции образования алмаза в метаморфических породах резко отличаются по физико-химическим условиям кристаллизации алмаза. Их на сегодня **четыре**. Первая гипотеза, которая возникла сразу же после открытия этого месторождения и претендующая тогда на открытие нового типа месторождений алмаза (был даже получен патент) — это концепция корового образования алмаза в метаморфических породах из углеродсодержащего флюида при относительно низких температурах и давлениях (Розен и др., 1973; Вавилов, 1995; Лаврова и др., 1999).

Термодинамические расчеты минеральных равновесий, сделанные сторонниками этой гипотезы, показывают, что на пике метаморфизма давление в этих породах достигало 4,5 ГПа, а температура около 1000°C. Минеральные парагенезисы свидетельствуют о последующей регрессивной стадии метаморфизма ($T = 500\text{--}800^\circ\text{C}$ и $P = 6\text{--}9$ кбар), когда алмазы (размер 12 мкм) и коэсит сохранились только внутри гранатов и цирконов (Sobolev, Shatsky, 1990). Модель корового флюид-метасоматического формирования алмазов в метаморфических породах в наибольшей степени отражает особенности алмазоносности этих пород по мнению некоторых ученых (Pechnikov, Kaminsky, 2008).

Следующая из гипотез, предложенная академиком А.А. Маракушевым с коллегами и учениками (1985, 1991), предполагает, что источниками алмазов в зерендинской свите Кокчетавского массива являются расслоенные интрузивы мантийных эклогитов и перидотитов, которые зарождаются в глубинных частях мантии и окончательно формируются в земной коре. Этот вывод сделан на основе результатов детального изучения богатых фтором хондрит-клиногумитовых гранатовых (подчеркнем это!) перидотитов Кокчетавского массива в ассоциации с эклогитами и алмазоносными гранатовыми пироксенитами. Кроме того, большая глубинность магматических очагов доказывается повышенным содержанием калия в центральных зонах клинопироксена (до 1,6 мас.% K_2O) из эклогитов и алмазоносных гранатовых пироксенитов. Это, по мнению А.А. Маракушева, прямое доказательство зарождения

алмазной ассоциации минералов в очагах огромной глубинности при высоком флюидном давлении

Далее алмазоносные пироксениты зерендинской серии совместно с перидотитами, эклогитами и вмещающими их породами подверглись складчатости и глубоким метаморфическим преобразованиям, сопровождавшимся карбонатизацией и окварцеванием с частичным унаследованием их алмаза. В этом процессе возникают уже вторичные алмазоносные породы различного типа.

Метаморфизм связан с орогенной стадией развития складчатого пояса зерендинской серии, сопряженной с глубинной гранитизацией. Аллохимический характер метаморфизма, сопровождаемого образованием биотита, мусковита, калиевого полевого шпата, придает геохимическую специфику гранатовым пироксенитам и эклогитам, ошибочно интерпретируемую, по мнению А.А. Маракушева, многими исследователями Кокчетавского массива в качестве признака их корового происхождения.

Третья гипотеза предложена новосибирскими петрологами под руководством академика Н.В. Соболева (Соболев и др., 1994; Шацкий и др., 1991). В ней предполагается погружение метаморфических толщ в зоне субдукции на мантийные глубины, где достигаются необходимые сверхвысокие температуры и давления, а углерод в С-О-Н флюиде наследуется коровый, т.е. здесь как бы сохраняется баланс между ультравысокими давлением и температурой и коровыми значениями $\delta^{13}\text{C}$.

Обращает внимание высокий уровень экспериментальных локальных исследований флюидной фазы из алмаза размером менее 150 мкм (Corte et al., 1998). Была применена локальная ИК-спектроскопия как для изучения алмаза, так и флюидных включений в нем. На рис. 9 приведен ИК-спектр образца алмаза из гранатового клинопироксенита. Все обнаруженные фазы четко диагностированы. Состав флюида очень похож на состав флюида из некоторых алмазов из кимберлитов (Corte et al., 1998).

Четвертая гипотеза предложена С.В. Дигонским (2005). Им предложена модель газофазного образования природного алмаза из газообразных углеводородов и показана определяющая роль скорости нагрева вещества (свыше 1000°C) при газофазном синтезе алмаза. Синтез алмаза и графита из газообразных углеводородов осуществляется без применения давления и практически при одних и тех же температурах, но мгновенный нагрев углеводородов приводит к росту алмаза, а медленный нагрев - к пиролизу с образованием графита.

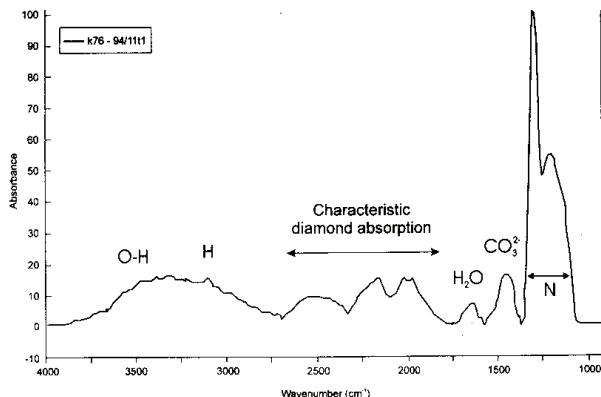


Рис. 9. ИК-спектр образца алмаза из гранатового клинопироксенита (Corte et al., 1998) месторождения алмазов Кумды-Коль, Казахстана.

Исходя из этого, им высказано предположение, что коровый генезис алмаза определяется «шоковым нагревом» природных углеводородов. Отмечено, что в алмазоносных породах рудной зоны Кумдыкольского месторождения наблюдается повышенное содержание углекислоты, метана и других углеводородов. Эти углеводороды испытали тепловой шок при внедрении гранитов и метасоматической переработке осадочных пород в зоне контакта. При этом не случайно ближе к контактам с гранитами в метаморфических породах наблюдаются скопления алмазов, содержание которых уменьшается в толще метаморфических пород при удалении от контакта.

Находки алмазов можно прогнозировать в метаморфизованных осадочных толщах, содержащих включения графита, причем в зоне контакта с интрузивами, где мог иметь место шоковый нагрев, сопровождавшийся метасоматической переработкой пород и кристаллизацией алмазов.

Особо подчеркнем, что все рассматриваемые нами алмазоносные метаморфические породы из различных регионов Мира: Казахстана, Греции, Германии, Китая и др., находятся в складчатых областях офиолитовых формаций между жесткими плитами, и их формирование происходило хотя и в разное геологическое время, но по одним и тем же эволюционным закономерностям, затрагивающим в качестве главного источника алмазов породы верхней мантии, какую бы мы генетическую схему образования алмазоносных метаморфических пород не предложили.

Завершая экскурс в алмазоносные метаморфические породы, просуммируем доказательства ультравысоких давлений, способствующих кристаллизации алмаза в этих породах:

1. Наличие включения TiO_2 с кристаллической структурой $\alpha\text{-PbO}_2$ в гранате из алмазоносных гнейсов, что свидетельствует о давлениях в диапазоне 45–65 кбар при $T=1000^\circ\text{C}$.
2. Находки рутил+клинопироксеновых ассоциаций в гранате из эклогитов, предполагающие существование резервуара с мэйджоритом, стабильным на глубинах более 200 км.
3. Присутствие флюидных включений в минералах (главным образом, в гранате), насыщенных водой, CO , CO_2 , метаном и другими углеводородами.

5. Алмаз из кимберлитов, лампроитов и мантийных пород

Конечно, весь этот комплекс пород вызывает наибольший интерес у специалистов-геологов, специализирующихся в алмазной геологии. Только с кимберлитами (в большей степени) и лампроитами (в меньшей, т.к. этих пород значительно меньше по сравнению с кимберлитами) связаны месторождения алмазов. О данном типе месторождений стало известно в начале 20 века, когда были открыты первые алмазоносные тела в Южно-Африканской республике.

По нашему мнению кимберлиты и лампроиты принадлежат к единой формации «ультраосновных пород эффузивного облика существенно оливинового состава с несколько повышенными содержаниями щелочей», образуя единый клан кимберлитов и родственных им пород, в том числе и лампроитов. На сегодня в Море известно порядка 5000 кимберлитовых тел. Лампроитов гораздо меньше не более сотни, и мы не будем акцентировать внимание на этом типе алмазоносных пород. В настоящее время алмазоносные кимберлиты обнаружены на всех континентах (Ваганов, 2000), алмазоносные лампроиты в Австралии (Jaques et al., 1986).

Большинство алмазоносных тел приурочены к древним архейским кратонам, жестким весьма устойчивым блокам литосферы, в виде кия уходящие в глубины мантии. Эта закономерность, известная, как правило Клиффорда, иногда нарушается. Так, например, алмазоносная лампроитовая трубка Аргайл с ураганной

алмазоносностью порядка 5 карат находится в восточной части кратона Кимберли в пределах мобильной зоны Холс Крик (Австралия).

Возраст кимберлитов варьирует в широком диапазоне. Так, например, для южно-африканских алмазоносных кимберлитов от докембрийских до позднее меловых: возраст алмазоносной трубки Премьер 1200 млн. лет, а возраст алмазоносной трубки Монастери – 90 млн. лет. Для якутских трубок выделяют 5 периодов кимберлитового магматизма с возрастом от 540 до 100 млн. лет. Во всем мире наиболее продуктивны кимберлитовые тела среднепалеозойского возраста (поздний девон-ранний карбон, 340-360 млн. лет). По крайней мере, большинство крупных алмазных месторождений имеют именно этот возраст. Хотя необходимо отметить, что и в более молодое время, например, в меловое время также можно отметить несколько крупных месторождений алмаза, но их алмазный потенциал, все равно, значительно меньший по сравнению с месторождениями среднепалеозойского возраста.

Некоторые общие универсальные характеристики кимберлитовых тел заключаются в следующем. Алмазоносные кимберлиты установлены на всех древних платформах Мира и для них доминирующей формой проявлений являются диатремы (трубки взрыва). Кимберлитовые диатремы всех провинций характеризуются большим разнообразием: *по размерам, морфологии, глубине заложения магматических очагов, внутреннему строению, особенностям состава заполняющих пород, содержанию и составу глубинного материала, степени и характеру переработки кимберлитов постмагматическими процессами, содержанию, морфологии и физическим свойствам алмазов и др.*

Содержание алмазов в этих породах, особенно в кимберлитах, сильно колеблется. В кимберлитах от первых десятых карата до 10 карат на тонну. В трубке Аргайл, сложенной оливиновыми лампроитами, содержания алмаза очень высокие и составляют в среднем 5 карат на тонну. При этом в лампроитах встречаются уникальные кристаллы алмаза лилово-пурпурной окраски, до сих пор не обнаруженные в кимберлитах. Отметим, что примерно такие же по цвету алмазы в небольшом количестве встречены в трубках месторождения им. М.В. Ломоносова (Архангельская область, Россия).

В основной массе кимберлитов и родственных им пород кристаллы алмаза находятся в виде вкрапленников с размерами от первых мкм до нескольких см. Так, самый крупный в мире кристалл алмаза "Куллинан", найденный в 1905 г. в трубке Премьер, весил 621,2 г или 3106 карат (1 карат = 0,2 г). При этом кристалл был сколот, поэтому не исключена возможность обнаружения и более крупных кристаллов. Из трубки Удачная (Якутия), которая эксплуатировалась на протяжении более 30 лет, каждый год извлекали до нескольких крупных кристаллов алмаза весом 50-150 карат. Последний крупный алмаз весом 888 карат найден в трубке «Юбилейная» 21 октября 2012 г. (рис. 10).

Алмаз в кимберлитах и родственных им породах встречается в виде хорошо образованных кристаллов октаэдрической, кубической и додекаэдрической форм, переходных между ними, а также в виде более сложных сростков и агрегатов (балласы, борт, карбонадо) (Таблица 2, Таблица 3). При этом в кимберлитах, преобладают кристаллы октаэдрического габитуса, хотя в трубках Архангельской алмазоносной провинции (ААП) преобладают додекаэдриды (Богатилов и др., 1999). Также и для многих трубок Якутской алмазоносной провинции (ЯАП) отмечен высокий процент алмазов додекаэдрического габитуса. Алмазы додекаэдрического габитуса характерны для лампроитовой трубки Аргайл. В некоторых кристаллах алмаза наблюдаются тонкодисперсные включения графита, во многих – углеводородов. Включения лонсдейлита для алмаза из кимберлитов и лампроитов не характерны, что, наряду с кристалломорфологическими особенностями кристаллов, отличает алмаз из данных пород от этого минерала в метеоритах и импактитах. Особо отметим встречающиеся

ПОЛИГЕННОСТЬ И ДИСКРЕТНОСТЬ – ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ГЕНЕЗИСА ПРИРОДНОГО АЛМАЗА

включения граната, клино- и ортопироксена, хромита, пикроильменита, сульфидов и т.д., которые несут ценную информацию о режимах и химизме среды кристаллизации алмаза и алмазоносных пород и являются основой не только экспериментальных работ по кристаллизации алмаза, но и технологий поиска кимберлитов и лампроитов.

В некоторых телах алмаз встречается в ксенолитах алмазоносных пород: пироповых перидотитах, пироксенитах и эклогитах. В России это, в основном, в трубках-месторождениях Мир, Айхал, Удачная, Сытыканская (Харьков и др. 1998). Однако надо обратить внимание на то, что содержание таких алмазоносных ксенолитов, а, следовательно, и алмаза, извлекаемого из них, ничтожно мало по сравнению с содержанием алмазов, которые образуют отдельные кристаллы или сростки в самой кимберлитовой или лампроитовой породе. Хотя в некоторых алмазоносных эклогитах были обнаружены сотни микрокристаллов алмаза, что несомненно является убедительным доказательством того факта, что алмазы в кимберлитах имеют ксеногенную природу.

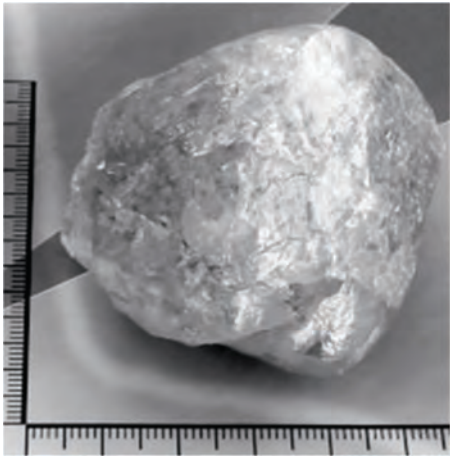


Рис. 10. Алмаз из трубки Юбилейная. 888,15 карата. Дата обнаружения. 21.10.12. Данные АК «АЛРОСА».

Таблица 2. Распределение алмазов из трубок месторождений ЯАП по морфологическим типам и разновидностям по классификации Ю.Л. Орлова.

Трубка	Число алмазов различных морфологических типов и разновидностей, %									
	Кристаллы I разновидности						Разновидности кристаллов			
	Всего	Октаэдры	Додекаэдропиды		Комбинационные		II, III	IV	V	VIII
			Уральско-го типа	Якутско-го типа	ОД	ОДК				
Ботуобинская	90	29	0,3	31	21	4	0	9	0	1
Нюрбинская	88	33	3	20	28	3	0	10	0	2
Мир	98	61	0	10	27	0	0	0	0	2
Интернациональная	98	70	0	5	23	0	0	1	0	1
Комсомольская	92	25	11	33	22	1	0,2	2	0	4
Юбилейная	76	24	10	22	17	0	3,2	5	2	10
Удачная	88	21	10	32	24	1	3,5	0,5	0	8

Таблица 3. Распределение алмазов из трубок месторождений ААП по морфологическим типам и разновидностям по классификации Ю.Л. Орлова.

Трубка	Число алмазов различных морфологических типов и разновидностей, %							
	Кристаллы I разновидности				Кристаллы разновидностей			
	Всего	Октаэдры	Комбинационные ОД	Додекаэдрои́ды	II, III	IV	V	VIII
им. Ломоносова	82,4	12,3	29,4	40,7	5,9	—	8,3	3,4
Поморская	72,6	11,8	9,1	51,7	20,5	—	7,2	
Пионерская	84,4	15,5	25,4	43,5	7,6	—	6,6	1,3
им. Карпинского-1	86,4	2,3	14,6	58,1	10,0	0,8	1,6	0,4
им. Карпинского-2	81,3	11,8	28,3	41,2	12,3	—	5,6	0,7
Архангельская	90,3	3,6	7,1	60,3	1,4	0,2	7,8	0,3
Снегурочка	85,7	14	8	62,0	8,3	0	6,0	—
Первомайская	80,0	17,8	4,2	58,0	8,6	0	5,2	—
Кольцовская	82,7	15,1	2,5	65,1	7,7	0	5,5	—
им. Гриба	87,0	32	17	29	4,4	1,4	2,1	5,2

Со дня открытия алмазоносных ксенолитов наблюдается настоящий бум в исследованиях, как самих кимберлитовых и лампроитовых пород, так и глубинных ксенолитов в них. На рис. 11 можно видеть прекрасные ксенолиты алмазоносных эклогитов из трубки Удачная (Якутия) с крупными кристаллами октаэдрического габитуса на их поверхности. Значительно меньше (по сравнению с эклогитами) находок алмазоносных перидотитов. До самого последнего времени кимберлиты и лампроиты являлись единственными материнскими алмазоносными породами, из которых добывают алмаз ювелирного качества. Кроме того, "корни" тел, сложенных алмазоносными кимберлитами и родственными им породами, уходят в глубины мантии до 200 км. Магмы, зарождаясь в глубинных зонах Земли, выносят ксенолиты глубинных ультраосновных и основных пород с различных уровней. До последнего времени большинством петрологов и минералогов, изучающих данный клан алмазоносных трубок, рассматривали их как сверхглубокие скважины - "окна в мантию" по образному выражению Н.В. Соболева (1974). Изучая эти ксенолиты перидотитов, пироксенитов и эклогитов, вынесенные кимберлитовой или лампроитовой магмой из глубин Земли на ее поверхность, можно реконструировать строение верхней мантии, верхов нижней мантии, переходной между ними зоны и земной коры в районах алмазных провинций Мира.

Минералогическая проблематика данного клана пород обширна. Здесь укажем на такие проблемы, как генезис алмаза и его минералов-спутников, стадийность минералообразования, зональность трубок, источники углерода, азота, воды, кислорода, редких элементов и многие другие. Среди них следует отметить и ряд прикладных проблем. Так, изучение распределения алмаза и других минералов-индикаторов (гранатов, хромшпинелидов, пироксенов, ильменита, сульфидов и прочих) в телах необходимо для решения ряда технологических вопросов при извлечении алмаза, содержание которого в промышленно-эксплуатируемых трубках обычно составляет не более ста тысячных долей процента от массы породы (0,2-1,5 карат на тонну).

Известно, что не все трубки алмазоносны. Количество тел с промышленным содержанием алмазов составляет не более 2-3% от общего числа открытых трубок. Есть трубки с малым содержанием алмазов, но с находками редких крупных кристаллов этого

минерала. Говоря о прикладном аспекте минералогических исследований кимберлитов, нельзя не указать на необходимость комплексных исследований алмаза с целью рационального использования сырья не только в ювелирной промышленности, но и в технических целях (в частности, в радиоэлектронике). Из кимберлитов также попутно можно добывать и прекрасные самоцветы: циркон-гиацинт, гранат-пироп, оливин-хризолит, а саму кимберлитовую массу из отходов алмазодобычи можно использовать при производстве строительных, огнеупорных и многих других ценных материалов.

Одно из самых перспективных направлений в изучении генезиса данного формационного ряда алмазоносных пород – это исследования самого алмаза, включений в нем и алмазоносных пород. За последние 15-20 лет в этом направлении получены фантастические результаты, однозначно доказывающие дискретность природного алмазообразования, и образование этого минерала на разных глубинах мантии от 600 км до 150 км.

Прежде всего, необходимо остановиться на включениях минералов в алмазе. Изучению этих включений уделяется самое пристальное внимание. На сегодня изучено достаточное количество твердых включений в алмазе, которые позволили говорить о среде кристаллизации этого минерала и о РТ-параметрах этой кристаллизации. Первые систематизированные данные за период с 70-х и по конец 90-х годов прошлого столетия дали возможность обнаружить и изучить минералы перидотитового (перидотит-пироксенитового) и эклогитового парагенезиса. На первом месте среди включений выступает сам алмаз, это убедительное доказательство дискретности его образования в мантийных условиях, а далее располагается целый ряд минералов, которые характеризуют среду (матрицу) его кристаллизации.

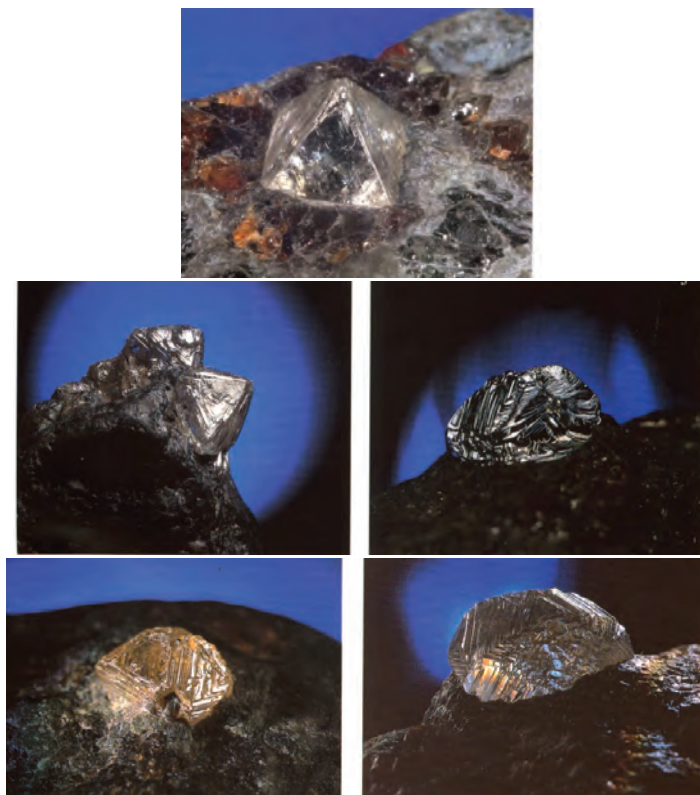


Рис. 11. Примеры алмазоносных эклогитов с включениями октаэдров алмаза и их сростков из кимберлитовой трубки Удачная, Якутия.

Перидотитовый парагенезис: Алмаз, Сульфиды, Оливин, Энстатит, Сг-диопсид, Сг-пироп, Хромит, Тi-хромит, Mg-ильменит, Циркон, Флогопит, Апатит, Магнетит, Кальцит, Магнезиовюстит, Муассанит, Самородное железо, Тэнит (?).

Эклогитовый парагенезис: Алмаз, Сульфиды, Омфакит, Пироп-альмандин, Гроссуляр, Кианит, Санидин, Коэсит (кварц), Рутил, Ильменит (Мп-ильменит), Рубин (корунд), Амфибол, Вюстит (магнезиовюстит) Самородное железо, Кальцит.

В настоящее время является доказанным и очевидным наличие в кимберлитах сверхглубинных алмазов с особым типом минеральных включений с достаточно плотными модификациями кристаллических структур. К таким особо глубинным типам включений в алмазе, кристаллизация которого предполагается на глубинах до 650 км, относятся ферропериклаз, CaSi-перовскит, SiO₂, MgSi-перовскит, CaTi-перовскит, тетрагональный альмандин-пироп, мейджоритовый гранат, бриджменит (Kaminsky et al., 2001; Navon, 1998).

Таким образом, для специалистов в области петрологии мантийных пород ясна модель распределения глубинных минералов в разрезе глубин до 800 км. (рис. 12).

С другой стороны имеются многочисленные и убедительные свидетельства кристаллизации алмаза из собственно кимберлитового расплава. В особой степени это касается хорошо ограненных октаэдров мелких классов менее 0,5 мм, которые встречаются во многих алмазоносных телах. Возможно, это очевидный факт нуклеации алмаза из силикатно-карбонатного расплава, что убедительно доказано в серии экспериментальных работ Ю.Л. Литвина с соавторами (Бобров, Литвин, 2009)

Интересным фактом являются, выявленные в катодолюминесценции срезов алмаза дискретные и неоднородные зоны от центрального типа алмаза (алмаза-включения), промежуточной зоны и краевой, что указывает на достаточно сложный процесс кристаллизации алмаза. Эти зоны проявлены и в разных соотношениях изотопов углерода, кислорода и в концентрации азота. Все эти факты свидетельствуют о достаточно сложных процессах эволюции алмаза и алмазоносных мантийных пород (Гаранин и др., 1991).

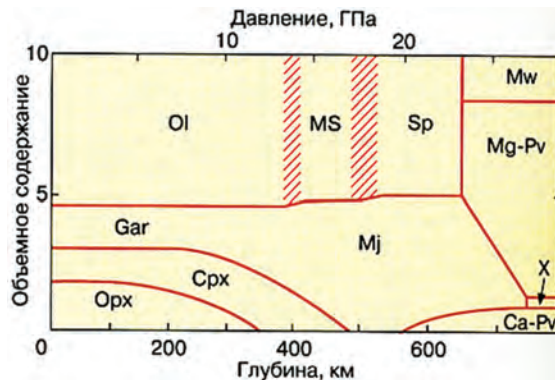


Рис. 12. Изменение объемных пропорций минералов пиролита от величины давления (глубины) (по М. Акаоги, 2007):

Ol- оливин, Gar – гранат; Crx – клинопироксен; Орх – ортопироксен; MS (вадслеит) – β -(Mg,Fe)₂SiO₄ со структурой типа шпинели; Sp (рингвудит) – γ -(Mg,Fe)₂SiO₄ со структурой типа шпинели, Mj –майджорит Mg₃(Fe,Al,Si)₂(SiO₄)₃; Mw – магнезиовюстит (Mg,Fe)O; Mg-Pv – Mg-перовскит, MgSiO₃ со структурой типа перовскита; Ca-Pv – Ca-перовскит, X – предполагаемые Al-содержащие фазы со структурами типа ильменита, Са-феррита и/или голландита

ПОЛИГЕННОСТЬ И ДИСКРЕТНОСТЬ – ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ГЕНЕЗИСА ПРИРОДНОГО АЛМАЗА

В настоящее время имеются неопровержимые доказательства кристаллизации алмаза во всем интервале времени от 3,5 млрд. лет до времени образования кимберлитовой трубки (Таблица 4).

В последнее время появляются все новые многочисленные и уже систематизированные данные, которые касаются роли флюидных включений в кристаллизации алмаза. Свидетельством этого является сводная диаграмма данные по составу флюидных включений в алмазе из многих провинций Мира Schrauder, Navon, 1994; Izraeli et al., 2001; Klein-BenDavid et al., 2003; 2006; Zedgenizov et al., 2004), представленная на рис. 13. Все большее количество новых данных отражают роль углеводородных систем в кристаллизации алмаза. Это новое и многообещающее направление в изучении алмаза и пород мантии.

Таблица 4. Абсолютный возраст алмаза и содержащих их кимберлитов из некоторых трубок различных провинций Мира.

Минерал, парагенезис, порода	Месторождение	Абсолютный возраст		Радиологический метод	Литературный источник
		алмаз, млрд. лет	кимберлит, млн. лет		
Алмаз перидотитовый	«Кимберли», ЮАР	3,4	90	Sm-Nd	Richardson et. al., 1984
Перидотитовый	«Финш», ЮАР	3,3	90	Sm-Nd	«-»
Эклогитовый	«Финш», ЮАР	1,58	90	Sm-Nd	«-»
	«Арканзас», США	3,1	100	Ar-Ar	Melton, Giardini, 1980
	«Кимберли», ЮАР	2,8	90	Ar-Ar	Takaoka, Ozima, 1978
	«Кимберли», ЮАР	>2,0	90	U-Pb	Kramers, 1979
	«Финш», ЮАР	>2,0	90	U-Pb	«-»
Перидотиты (по диопсиду)	«Мацоку», Лесото	2,5	90	U-Pb	«-»
Эклогиты (по омфациту)	«Робертс Виктор», ЮАР	2,5	127	U-Pb	«-»
Эклогиты	«Робертс Виктор», ЮАР	4,2	127	Rb-Sr Sm-Nd	«-»
Алмаз эклогитовый	«Премьер», ЮАР	1,15	1100-1200	Sm-Nd	Richardson, 1986
Алмаз лерцолитовый	«Премьер», ЮАР	1,9	1100-1200	Sm-Nd	Richardson et. al., 1993
Алмаз эклогитовый	«Орапа», Ботсвана	0,99 >2,5 1,0-2,5	100	Sm-Nd ⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar ⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar	Richardson et. al., 1990 Burgess et. al., 2004
Алмаз гарцбургитовый	«Удачная», Россия	2,0	350	K-Ar	Брахфогель, 1984
Алмаз перидотитовый по ийменгиту (минералу группы магнето-плюмбита)	«Сиз», Зимбабве	0,538 0,892	538	⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar	Bulanova et. al., 2004
Алмаз эклогитовый	«Венеция», ЮАР	0,52	520	⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar	Burgess et. al., 2004
Алмаз эклогитовый	«Аргайл», Австралия	1,58	1100-1200	Sm-Nd	Richardson et. al., 1986

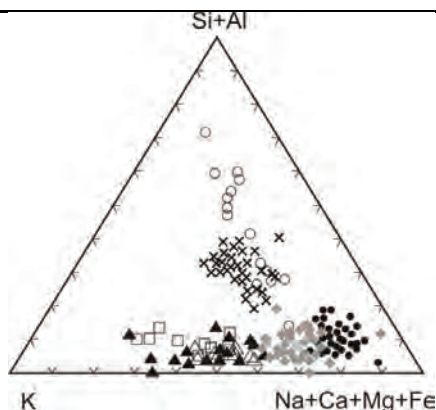


Рис. 8. Флюидные включения в алмазах ЮАР, Ботсваны, Канады, Якутии (Schrauder, Navon, 1994; Izraeli et al., 2001; Klein-BenDavid et al., 2003; 2006; Zedgenizov et al., 2004).

Минералогические исследования сингенетических включений в природных алмазах показали, что материнская среда, в которой формировались алмазы, является гетерогенной. Ее фазовый состав определяют силикаты, алюмосиликаты, оксиды, сульфиды ультраосновных и основных парагенезисов, карбонаты, фосфаты, хлориды, карбиды, металлы, вода, уголекислота, метан, сильно сжатые фрагменты карбонатитовых расплавов и некоторые другие (Литвин, 2013).

Имеющиеся в настоящее время крупные массивы минералого-аналитической и экспериментально-минералогической информации позволяют аргументировать карбонатно-силикатную («мантийно-карбонатитовую») концепцию ростовой среды для доминирующей массы природных алмазов кимберлитовых месторождений в качестве доминирующей (Литвин и др. 2016).

Таким образом, совершенно очевидно, что в кимберлитах и лампроитах выявлено несколько популяций алмаза, связанных своим происхождением с разными типами мантийных пород и кимберлитов. Их количество – зависит не только от среды, в которой они кристаллизуются, но и от всей совокупности процессов, которые происходят в мантии на протяжении многих миллионов лет. Сложный процесс формирования мантийных пород, их метасоматоз под влиянием глубинных флюидов и тектонических глобальных движений материков, субдукция коровых пород, образование очагов протокимберлитовых расплавов – все это отражается и в количестве алмазов и в их качественных характеристиках. При этом, очевидно, что алмазы в своем развитии претерпевают как рост, так и растворение, по этой причине содержание алмазов в телах варьирует в достаточно широких пределах.

По Спарксу (Sparks et al., 2008), О.А. Богатикову и др. (2009) и др. исходный расплав кимберлитов формировался в астеносфере и внедрялся в литосферу, достигая в конечном итоге земной поверхности. Расплав был обогащен водой и летучими компонентами (в первую очередь и преимущественно CO_2). При подъеме к поверхности расплав ассимилирует мантийные и коровые компоненты, насыщаясь в первую очередь MgO и, в конечном итоге, приобретая состав наблюдаемых сегодня кимберлитов. При этом наблюдаемые вариации состава кимберлитов зависят от множества факторов (состав мантийного субстрата, тип мантийного метасоматоза, степень плавления, динамика подъема и др.). Все эти факторы напрямую влияют на алмазоносность, иногда в значительной степени уменьшая ее.

Фактическая алмазоносность кимберлитов зависит от времени воздействия расплавного и флюидного метасоматоза, который проявляется в матрице кимберлитовых пород по разнообразию и протяженности трендов (например, наиболее

ярко) шпинелидов и развитию реакционных минералов, а в алмазе – по степени агрегации азота и распространенности кривогранных форм.

6. Алмаз из включений в коэзитсодержащих хромитах и из хромититов офиолитов

Напомним, что офиолитовые породы (комплекс пород) – это совокупность основных и ультраосновных пород, которые возникли (образовались) на океаническом основании и в верхней мантии на начальном этапе горообразовательных процессов.

Алмазы и другие минералы ультравысоких давлений (UHP) впервые были установлены в офиолитах Луобуса в Тибете (Китай) (Yang et al., 2007)

Алмаз обнаружен в виде включения в Os-Ir выплавке, а коэзит в части силикатной ассоциации, окружающей Fe-Ti выплавку. Обе эти выплавки были извлечены из хромита. Эти находки предполагают давление порядка 2,8-4 ГПа.

Отдельные "кристаллы" коэзита имели внешнюю форму, сходную с формой стишовита, и были поликристаллическими, предполагая псевдоморфное замещение и давление более 9 ГПа.

Предполагается, что эти минералы высоких давлений были заключены в хромит в глубинах верхней мантии.

В последующем, кроме находки алмаза в офиолитах Луобуса, были обнаружены алмазы в офиолитах в областях развития плутонических пород – хромититах Хегеншан (Китай), Сартохай (Китай) и Рай-Из (Россия), рис. 14.

На рис. 15 представлены фотографии минералов (алмаз, муассонит, хром), извлеченных из хромититов офиолитов Рай-Из (Россия). Хромитит - плутоническая порода, сложенная хромитом в ассоциации с бронзитом и плагиоклазом (разновидности: хромитит оливниновый, уваровитовый)

На рис. 16 приведены фотографии типичных алмазов из офиолитов. На рис. 17 представлены данные о значениях изотопа углерода $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ алмазов из офиолитов, которые варьирует от -18 до -28‰, в то время как данный показатель для алмазов из ксенолитов в кимберлитах, в подавляющем большинстве, имеет показатели $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ в пределах от 0 до -8‰, с наименьшим значением -22‰, (Yang et al., 2015).

Обращает на себя внимание тот факт, что офиолиты имеют отношение к орогенным поясам и никак не связаны напрямую с кратонами, в которых располагаются алмазоносные кимберлиты. Тем не менее, несомненно, связь имеется, т.к. предполагается, что зарождение хромититов начинается в верхней мантии

Модель, объясняющая присутствие алмазоносных хромититов в офиолитах и мантийных перидотитах в срединных океанических хребтах (MOR - mid-ocean ridge) и бассейнах тыловых дуг (BAB – back-arc basin), представлена на рис. 18.

Если внимательно изучить модель, то здесь возникают вопросы. Предполагается, что хромититы, да и вообще офиолиты, имеют корни в мантии. Здесь возникает один существенный вопрос, а почему в этом случае имеем коровые значения изотопа углерода $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ алмаза из хромититов. Если посмотреть на модель, то видно, что корни дунитов с хромититами уходят в транзитную зону, это глубже 400 км. Но где здесь коровый источник углерода алмаза. Возможно, в транзитной зоне мантии происходит отрыв (как показано на рис. 18) субдукционного корового «языка», а в нем естественно присутствует коровый углерод, который и является источником алмаза. Это все-таки гипотеза и не более того. По этой причине необходимо и дальше работать над вопросом образования алмаза в офиолитовых поясах, в том числе и в хромититах.

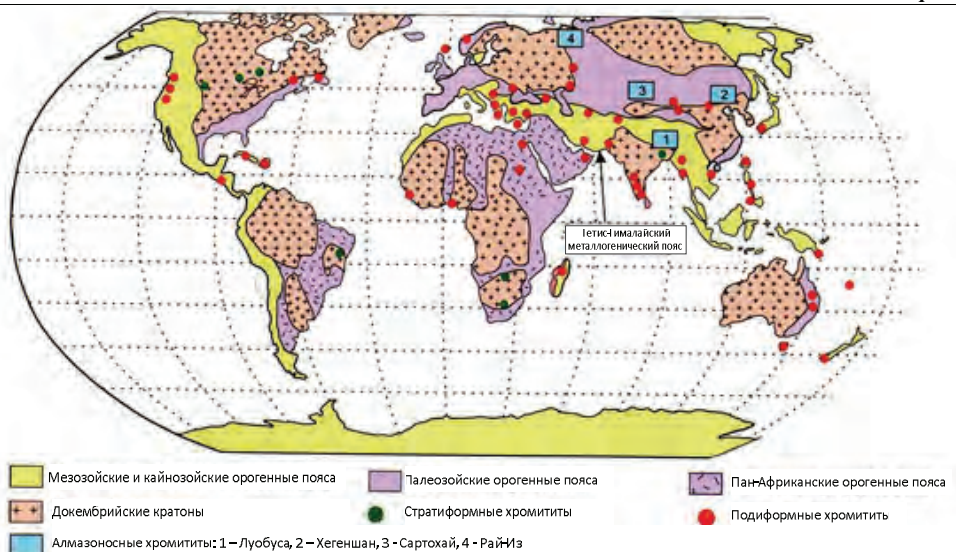


Рис. 14. Общая геологическая карта Мира, иллюстрирующая основные орогенные пояса и распределение главных стратиформных и подиформных типов хромититов.

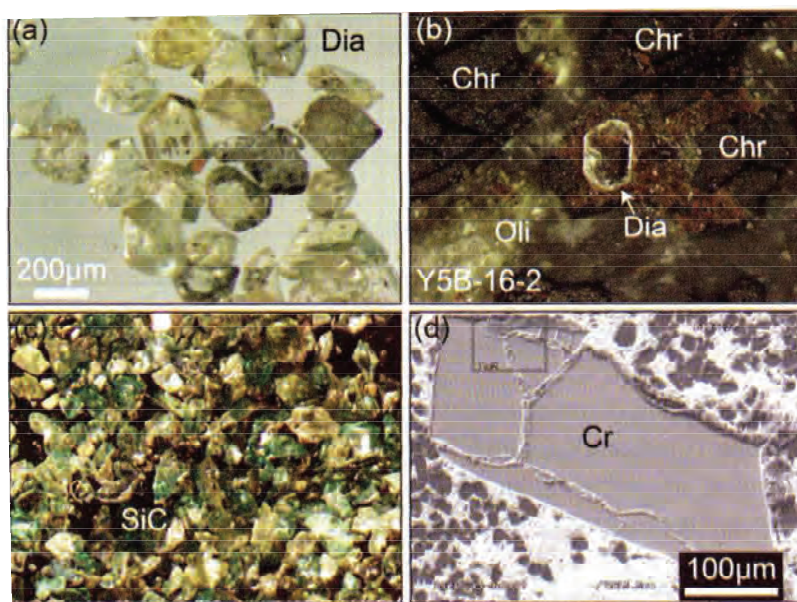


Рис. 15. Примеры минералов, извлеченных из хромититов офиолитов Рай-Из: а – алмазы из хромититов, отличающиеся по размеру, цвету и морфологии от алмазов из офиолитов Луобуса; б – алмаз «in-situ», окружен небольшой зоной, сложенной аморфным углеродом коричневого цвета; в – многочисленные зерна муассонита, извлеченные из хромитита, имеющие угловато-обломочную форму и типичный зеленый-желтовато-зеленый цвет; д – сравнительно большое зерно (размер 700x200 мкм) самородного хрома (изображение во вторичных электронах, метод растровой электронной микроскопии).

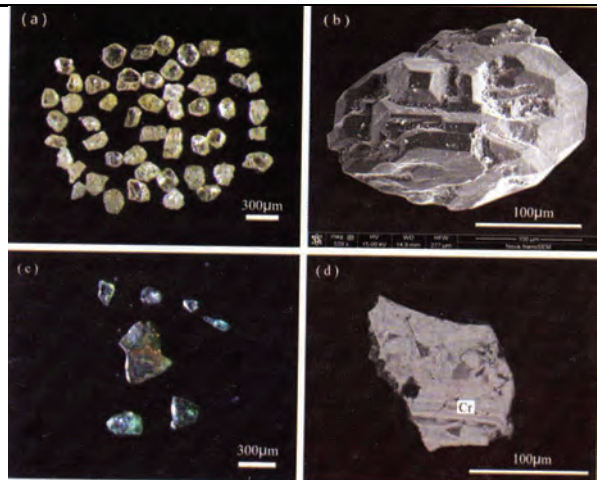


Рис. 16. Типичные алмазы из офиолитов: а – типичные алмазы из офиолитов, представленные зернами бледно-жёлтого цвета с размером около 200 мкм; б – зерно алмаза со сложной блочной морфологией (метод сканирующей электронной микроскопии); в – мелкие обломочные кристаллы муассонита синевато-зеленого цвета; г – мелкое (150 мкм) угловатое зерно самородного хрома (метод сканирующей электронной микроскопии).

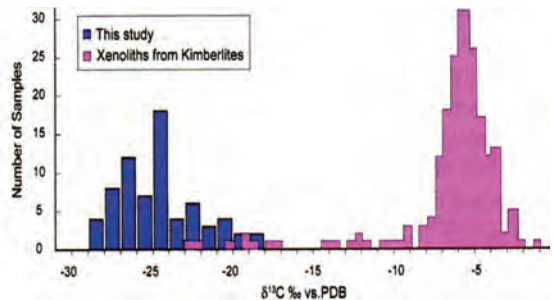


Рис. 17. Гистограмма значений изотопа углерода $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ изученных алмазов из офиолитов (синий крап) и кимберлитов (красный крап).

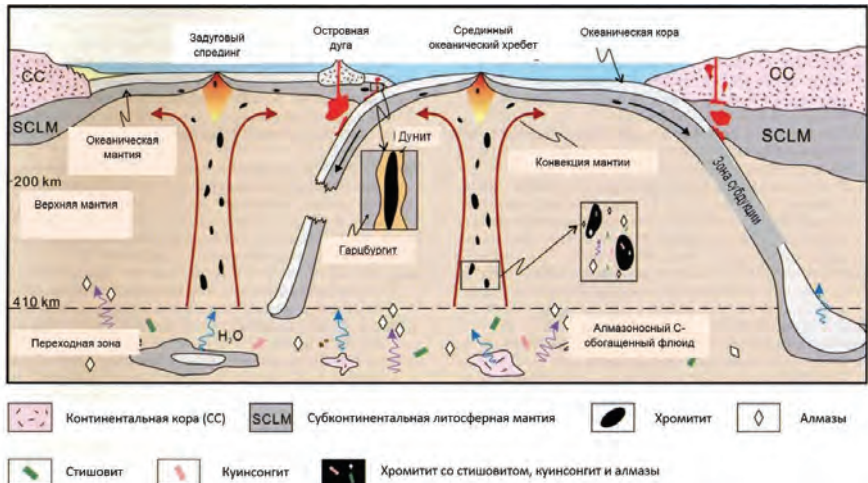


Рис. 18. Новая модель, объясняющая присутствие алмазоносных хромититов в офиолитах и мантийных перидотитах в срединных океанических хребтах (MOR - mid-ocean ridge) и бассейнах тыловых дуг (BAB – back-arc basin). По J. Yang et al., 2015.

7. Алмаз из гранатовых пироксенитов, вебстеритов

В литературе имеется только небольшое сообщение о том, что обнаружены включения микроалмазов в линзах мантийных перидотитов поля гранатовых вебстеритов Западной Норвегии из района Бардане острова Эйе (Фиортофт) (Roegmund et al. 2002).

Алмаз в ассоциации со шпинелью образует выключения в гранатах. Результаты исследований предполагают, что рост алмаза происходил из флюидов при ультравысоких давлениях и умеренных температурах при субдукции континентального материала до глубин > 130 км в процессе коллизии плит. Здесь много вопросов, поскольку не раскрыты данные о составе минералов, особенно гранатов, в которых обнаружены микровключения алмазов. Какие есть основания говорить, что речь идет о мантийных перидотитах и вебстеритах. Какое сходство этих алмазоносных пород и ксенолитов алмазоносных перидотитов в кимберлитах. Тем не менее, находка представляет особый интерес, т.к. расширяет известный диапазон находок алмазоносных мантийный пород.

8. Графитизированный алмаз из гранатовых пироксенитов расслоенного плутона Бени-Бушера (Марокко)

Очень интересна находка графитизированного алмаза в расслоенном плутоне Бени-Бушера в Марокко. Этим плутоном в советское время плотно занимался советский геолог В.В. Слодкевич, который описал данный плутон и много внимания уделял прослою пироксенитов с графитизированным алмазом, в том числе и детальному описанию данного минерала (Слодкевич В.В., 1982). Расслоенный плутон Бени-Бушера сложен дунитами, лерцолитами и пироксенитами. Мощность плутона порядка 10 км (Галимов, Слодкевич, 1988). В верхней части плутона, доступного для изучения (слой по вертикали порядка 3 км), выделен горизонт графитовых гранат-авгитовых пироксенитов, в котором распространен графит в форме октаэдров, что дало возможность многим исследователям и, в первую очередь, В.В. Слодкевичу, считать эти графитовые образования как псевдоморфозы графита по алмазу. Эти пироксениты вместе с лерцолитами, бронзитами, вебстеритами и клинопироксенитами образуют горизонт переслаивания до 7 км в длину и мощностью 14-16 м (Галимов, Слодкевич, 1988).

Ни в одном кристалле графита, к сожалению, не был найден алмазный зародыш. Октаэдры распределены в пироксенитах неравномерно от знаков до 15-16% от объема породы. Их размер колеблется от 0,2 до 8 мм. Очень узкий изотопный состав углерода $\delta^{13}\text{C}$ данных октаэдрических образований $-21 \div -22\%$, который указывает на коровый источник углерода. Гранат из пироксенитов обогащен марганцем (до 1,12 мас.% MnO), а клинопироксен – титаном и Fe^{2+} (это субкальциевые титансодержащие омфацит-авгиты) (Мацюк и др., 1987). Эти минералы далеки по составу от подобных им граната и клинопироксена из алмазоносных мантийных пород, в данном случае пироксенитов.

Этот алмазоносный плутон дает нам возможность предложить природную внутрикамерную модель образования алмазоносных кумулатов, своеобразных пегматитов, алмаз в которых кристаллизуется из флюидов, богатых углеводородных системами. Формирование плутона начиналось на больших глубинах и при внедрении в земную кору происходило его расслоение с увеличением внутрикамерного флюидного давления до режимов кристаллизации алмаза. Псевдоморфозы графита по алмазу развивались в высокотемпературном режиме при низких значениях давления уже в метасоматической обстановке. Таким образом, мафит-ультрамафитовый плутон Бени-Бушера в Марокко можно рассматривать в качестве нового типа алмазоносных пород. Конечно, в этом примере можно указать на расширение спектра генетических типов алмаза тем более, в продолжении этой темы интерес представляют данные по алмазам

из флогопит-плагноклазового лерцолита Бельтауского расслоенного плутона в Узбекистане (Слодкевич, Шафрановский, 2000). Из 500 грамм породы было выделено 48 поликристаллических агрегатов графита (октаэдры, ромбододекаэдры, кубы) размером от 0,5 до 0,7 мм. В ядре одного из них удалось найти и извлечь реликт алмаза кубооктаэдрического габитуса с матированной поверхностью размером до 60 мкм. Алмаз диагностирован дополнительно применением рамановской спектроскопии. Изотопный состав графитовых кристаллов $\delta^{13}\text{C} = -20,2 \div -8,4\text{‰}$, аналогично графитовым агрегатам из плутона Бени-Бушера. При этом авторы изучения алмазов из Бельтауского расслоенного плутона допускают их генезис как гидротермально-пнеуматолитовый (Слодкевич, Шафрановский, 2000). Предложенный вариант генезиса алмаза из расслоенных плутонов на примере Бени-Бушера и Бельтауского плутона сложно себе представить, это все-таки предположение, а не убедительная гипотеза.

9. Алмаз из известково-щелочных лампрофиров – минетт

Этот тип алмазоносных пород был открыт в 1994 г. канадскими геологами на площади Паркер Лейк северо-западного побережья Гудзонова залива в Канаде. И в первых же пробах содержание алмазов составляло более 7 карат на тонну. Породы по химическому составу относились к разновидности известково-щелочных лампрофиров – минеттам. В течение этого же года были найдены еще три дайки алмазоносных минетт (Терсти Лейк, Южная и Виктории-Дэй). Затем в 1995-1996 г. совместно канадскими геологами компании Камберлэнд Рисорс и российскими геологами института ЦНИГРИ МПР России была найдена еще одна алмазоносная дайка «Северная» (Каминский, Саблуков, 2002). И все эти дайки представляли собой единую систему алмазного месторождения нового типа (алмазоносные минетты) с высоким содержанием алмазов до 12 карат на тонну. Интересно, что возраст даек достаточно древний – около 1850 млн. лет (ранний протерозой). Эта система даек протянулась по направлению, близкому к меридиональному, и состоит из чередования тел мощностью в среднем 4-5 м, иногда до 8 м (Каминский, Саблуков, 2002). По данным этих геологов полнокристаллическая массивная порода черного цвета состоит из трех минералов: калиевого полевого шпата (55%), биотита (35%), апатита (10%). Кроме этого района, в Канаде алмазоносные минетты найдены в районе Вава, провинция Онтарио (рис. 19).

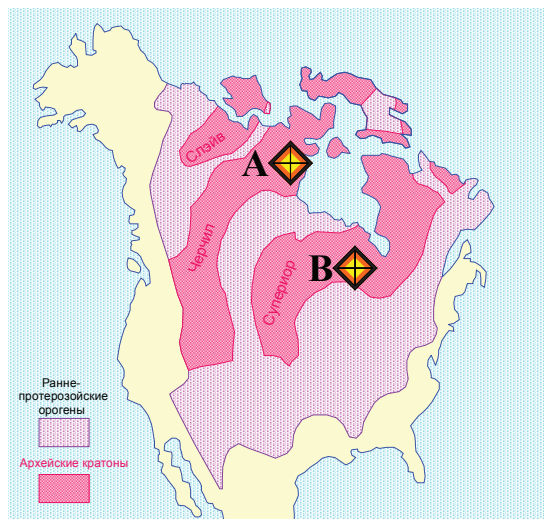


Рис. 19. Районы широкого развития высокоалмазоносных изверженных пород некимберлитового типа на Канадском щите: А – Аклуилак (Паркер Лэйк, Нунавут), В – Вава (Онтарио).

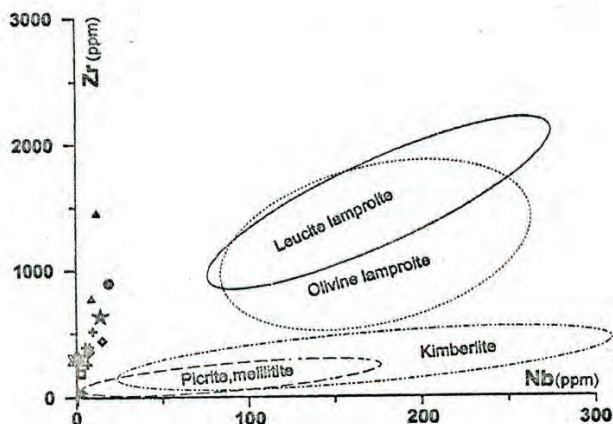


Рис. 20. Соотношение Zr – Nb в породах даек алмазоносных минетт по данным Ф. Каминского и С. Саблукова ((Каминский, Саблуков, 2002).

Петрохимически минетты – это щелочные ультракалийевые породы (сумма щелочей – 9-13%) с низким содержанием кремнезема – 40-45%. Геохимически породы отличаются малыми содержаниями титана, ниобия, тантала, низкими содержаниями легких редкоземельных элементов, тория и урана и в тоже время высокими – фосфора, бария и стронция. Для минетт типичны повышенные содержания циркона (рис. 20).

Эта порода минетта резко отличается по облику, по текстуре и по набору главных минералов от кимберлитов и лампроитов, хотя в них, как и в кимберлитах, присутствуют ксенолиты метаморфических и магматических пород размером до 10 см. Подчеркнем, и это очень важно для понимания генезиса минетт, что они в значительной степени метаморфизованы и перекристаллизованы (Каминский, Саблуков, 2002). При этом реликтовым минералом остался только апатит с четкой кристаллической огранкой. В качестве аксессуарных и редких минералов постоянно выступают сфен, циркон, рутил, магнетит, пирит, ильменит. Обнаружены единичные зерна минералов-индикаторов алмазов: оливин, пироп, пикроильменит, хромдиопсид, типичные минералы мантийных пород. На рис. 21 приведен типичный график соотношения Sr – Ca для пироба из мантийных пород с нанесенными фигуративными точками электронно-зондовых анализов данного минерала из тяжелой фракции минет. Как видно из рис. 21, это в основном, Sr-пироп (1,48-6,12 мас.% Sr_2O_3 ; 4,57-5,70 мас.% CaO) из известных мантийных лерцолитов. Также встречены пироп-альмандины из железистых эклогитов (0,8-0,9 мас.% Sr_2O_3 ; 3,51-5,87 мас.% CaO).

Очень интересные данные получены при изучении алмаза. Средний размер кристаллов алмаза 0,5 мм. Морфология разнообразна (рис. 22, рис. 23): округлые додекаэдровиды, тетрагексаэдровиды кубы и кубоиды и комбинационные формы. Редки октаэдры и шпинелевые двойники октаэдров. Практически все кристаллы имеют цвет: желто-зеленый, желтовато-коричневый, зеленый, черный и т.д. Алмазы ювелирного качества практически отсутствуют. Обратим внимание на коррозионный рельеф поверхности кристаллов алмаза (рис. 22, рис. 23) и выдержанный размер этих кристаллов алмаза.

Изотопный состав углерода алмазов колеблется в пределах $\delta^{13}\text{C} = -2,0\%$ и $-18,0\%$ при двух максимумах $-5,0\%$ и $-10,0\%$ (Рис. 24). Если проанализировать данные изотопного состава алмаза из минетт, то можно обратить внимание на явно два максимума: один типично подобный изотопному составу углерода алмаза из перидотитов, а другой, можно предположить, связан с пироксенит-эклогитовой системой мантийных пород.

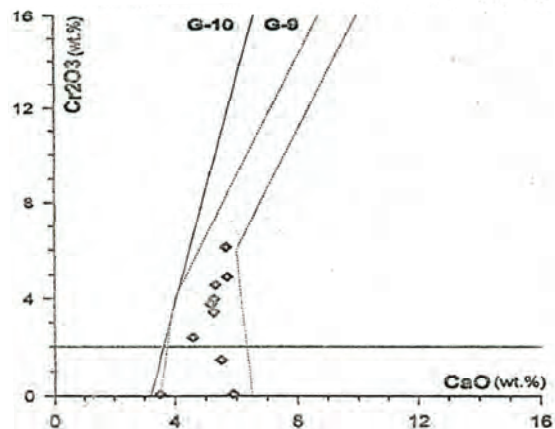


Рис. 21. Соотношение $\text{CaO}-\text{Cr}_2\text{O}_3$ для граната из тяжелой фракции алмазоносных минет. Точечной линией выделена область пироба из лерцолитов по Н.В. Соболеву (Соболев, 1974). Горизонтальной линией отделена область составов граната из эклогитов с низким содержанием хрома. Вертикальной линией разделены области составов пироба G10 из алмазоносных дунитов и гарцбургитов и G9 из лерцолитов по Д. Доусону и В. Стефенсону (Dawson, Stephens, 1975).

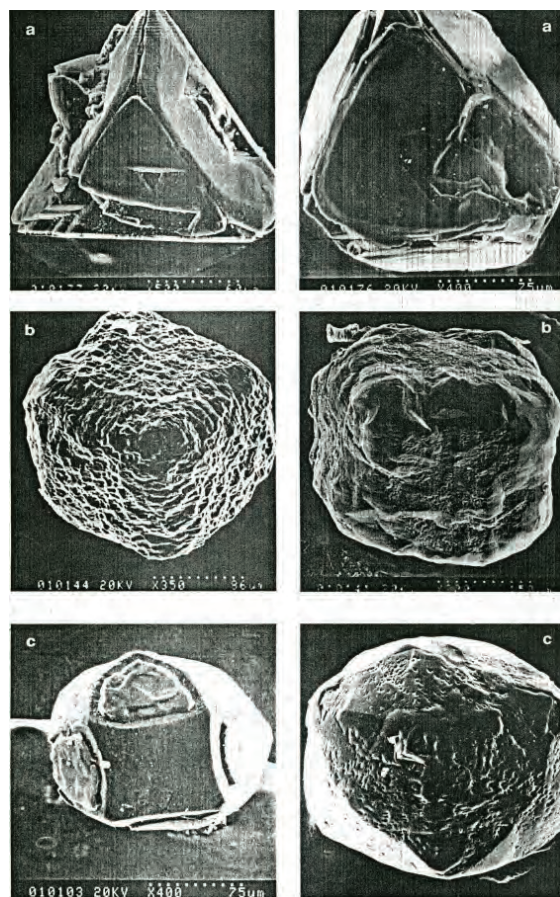


Рис. 22. Морфологические особенности алмаза из минеттов Терсти Лайк, площадь Паркер Лэйк, провинция Нунавут Канада.

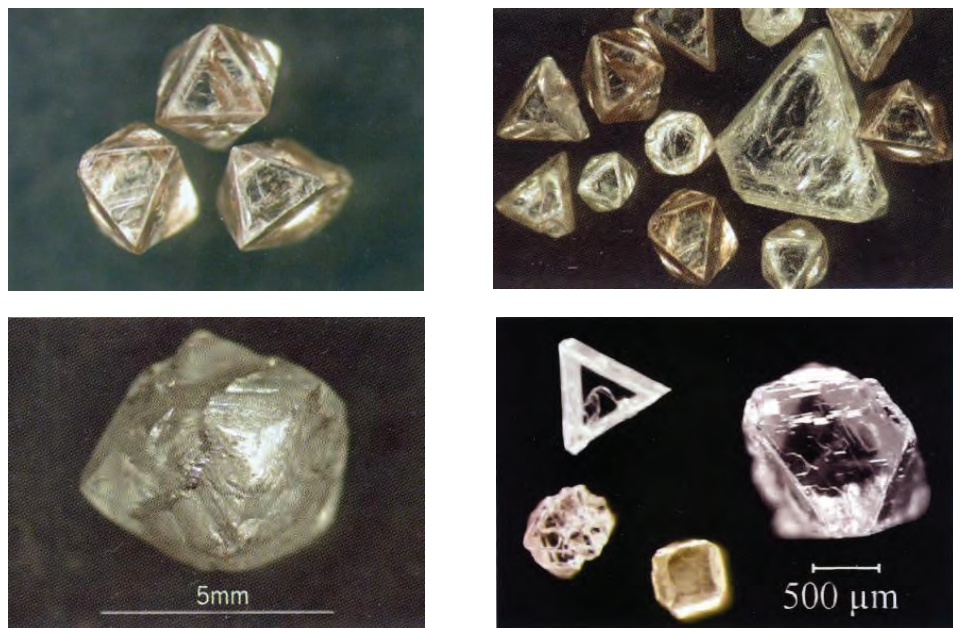


Рис. 23 Морфологические особенности алмаза из минетт области Вава, провинция Онтарио, Канада.

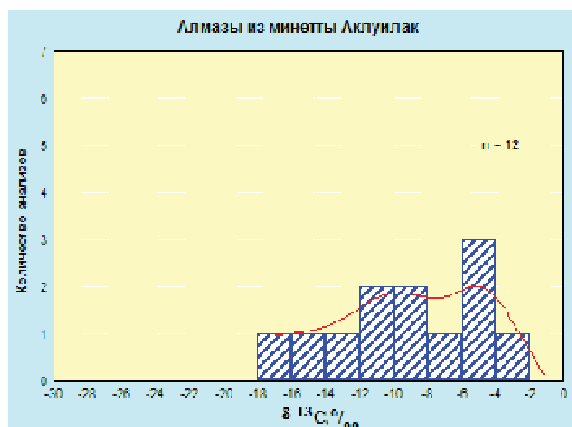


Рис. 24. Изотопный состав углерода алмазов из минетт.

Как нам представляется интенсивный метаморфизм пород минетт скрыл истинный их состав, который, возможно, был, каким-то образом, ассимилирован с кимберлитами. Сложная эволюция пород при формировании даек с высоким окислительным потенциалом способствовала интенсивному растворению кристаллов алмаза. Продолжение дальнейших исследований пород и минералов из них, в том числе и алмазов, однозначно приведет к новым интересным результатам и к новому пониманию полигенности природного алмазообразования. Алмазный потенциал северо-западного побережья Гудзонова залива по оценке Ф. Каминского и С. Саблукова (Каминский, Саблуков, 2002) составляет несколько миллионов карат.

Для понимания генезиса минетт обратим внимание на то, что для них характерен выдержанный изотопный состав ниодима и варьирующий – стронция и, как

предполагают Ф. Каминский и С. Саблуков (Каминский, Саблуков, 2002), источником этих пород является древняя обогащенная литосферная мантия.

В конечном итоге, надо обратить внимание на следующее: древний возраст минетт (1,85-2,1 млрд. лет), их интенсивная переработка, сложная и, вероятно, длительная эволюция, нахождение на древних (архейских) территориях с возрастом более 2,5 млрд. лет, типичные минералы-индикаторы алмазов мантийного происхождения, формирование рядом с этими породами типичных кимберлитовых тел – все это указывает на очень сложный и разноплановый характер магматизма подобных территорий, включающий образование трубок, даек и жил, имеющих, несомненно, мантийные корни в области стабильности алмазообразования, но разные пути и режимы доставки кристаллов алмаза к поверхности Земли.

10. Алмаз из коматитов

В районе Дахен (Dachine) Французской Гвианы позднекареельские алмазоносные вулканокластические коматииты образуют толщу, развитую в пределах одной из частей древнейшей островной вулканической дуги (рис. 25). Это часть зеленокаменного пояса Inini, сформировавшегося $2,11 \pm 0,09$ млрд лет назад и являющегося составной частью Гвианского щита. Алмазоносные коматииты занимают площадь, по меньшей мере, 5 км x 0.35-1,1 км.

Валовое содержание алмазов составляет в пробах от < 1 до 77 на один кг породы. Большинство зерен - микроалмазы, но местами порода обогащена и более крупными (> 1 мм) кристаллами. В перекрывающем плохо сортированном аллювии устанавливаются концентрации полезного компонента до 4 карат/м. Самые крупные зерна алмаза достигают размера 4,6 мм в диаметре.

Облик кристаллов (присутствие кубо-октаэдров, рис. 26), также, как и низкое соотношение изотопов углерода (дельта ^{13}C в основном составляет -23-27 ‰, рис. 27) позволяют предположить их генезис в условиях, типичных для формирования эклогитов (Capdevila et al., 1999).

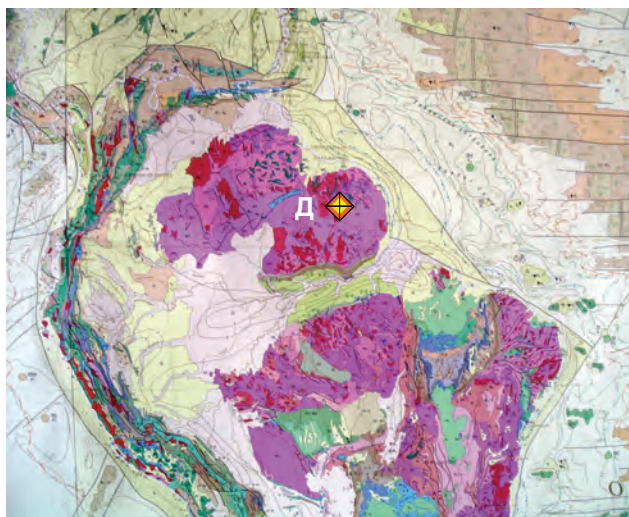


Рис. 25. Схема расположения на Гвианском щите месторождения алмазов Дахен в раннепротерозойских вулканокластических коматиттах.

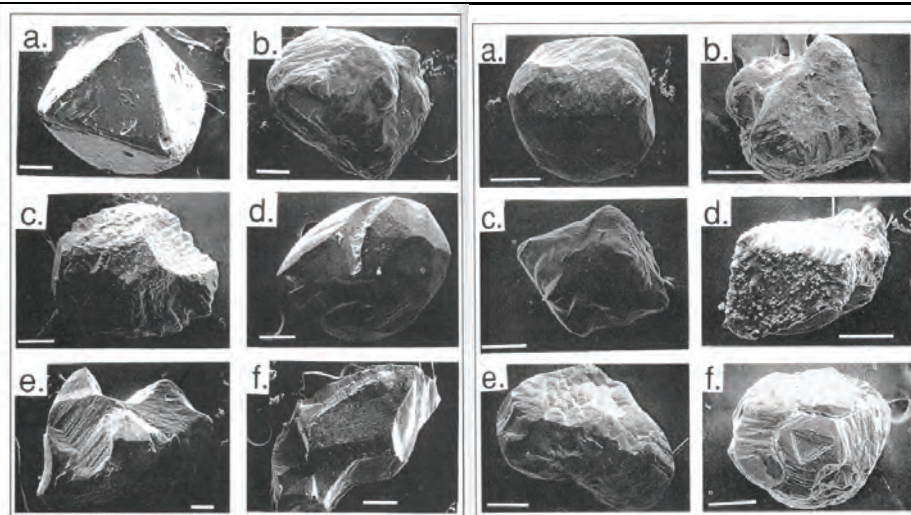


Рис. 26. Разнообразие морфологических форм алмаза из коматиитов Дахен (Гуйана, McCandless et al., 1999).

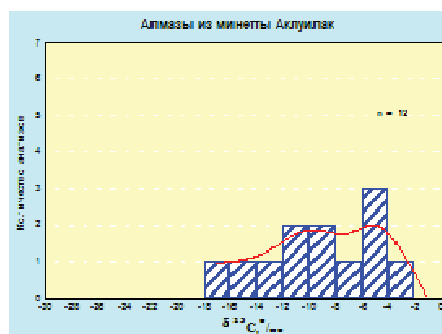
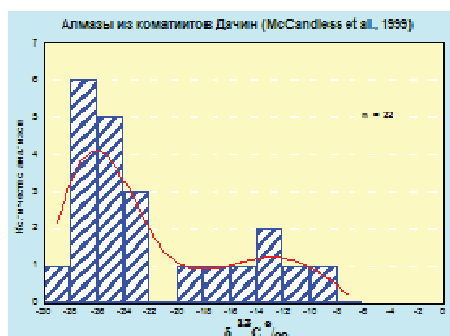


Рис. 27. Изотопный состав углерода алмаза из магматических пород некимберлитового генезиса.

Завершая разделы об алмазах из минетт и коматиитов (разделы 9 и 10) необходимо обратить внимание на некоторые закономерности в петрохимических составах этих пород. Ведь эти породы по химизму достаточно далеки от кимберлитов, прежде всего, по более высокому содержанию магнезимальности последних. Об этом вполне убедительно свидетельствует классификация алмазоносных вулканических пород в координатах: Al, (Fe_{tot} + Ti) и Mg (катион. %) (рис. 28). При этом особо необходимо подчеркнуть, что, несмотря, на повышенную щелочность минетт и коматиитов и более высокое содержание алюминия в этих породах, алмазы реально наблюдаются в них в достаточно больших количествах. По существу, это алмазные месторождения, которые отличаются от алмазных кимберлитовых месторождений тем, что алмаз из минетт и коматиитов имеет малые размеры, более высокие содержания камней разных цветовых тонов, а также высоким содержанием додекаэдридов и кубов и более высоким уровнем коррозионного рельефа на них. О чем это может свидетельствовать. Возможно, эти породы имеют связь через «кимберлитовые коридоры» с верхней мантией. Доказательством этого является наличие, например, типичных мантийных минералов в минеттах. Другой возможной причиной кристаллизации алмаза в этих породах, например, в случае коматиитов, может быть

ПОЛИГЕННОСТЬ И ДИСКРЕТНОСТЬ – ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ГЕНЕЗИСА ПРИРОДНОГО АЛМАЗА

образование своеобразных флюидизированных силикатно-карбонатных камер, в которых происходит не только нуклеация алмаза, но и дальнейший их рост с последующим растворением в процессе движения расплавов к поверхности Земли.

Отметим, что на сегодня имеются достаточно много источников вулканических пород некимберлитового генезиса (рис. 29). И представляется, что множественность этих источников будет только увеличиваться. В этом случае появляется возможность при расширении возможностей изучения этих пород более аргументировать их генезис, а также генезис алмазов в подобных вулканических породах.

Новый тип алмазоносных пород – меланократовые карбонатиты установлены в Чагатайском трахит-карбонатитовом комплексе южного Нуратау (западный Узбекистан). Комплекс представляет собой рой даек преимущественно карбонатитов, сближенных с вулканическими трубками взрыва. Возраст комплекса триасовый. Первые находки алмазов установлены в 1994 г.

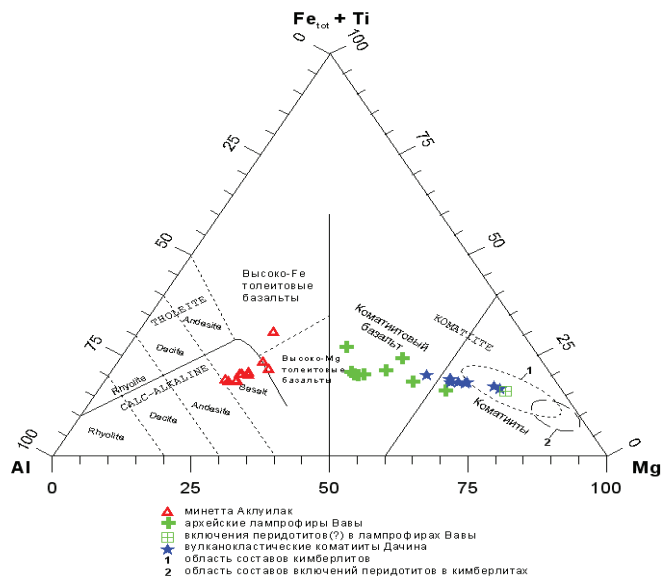


Рис. 28. Классификация алмазоносных вулканических пород в координатах: Al, ($Fe_{tot} + Ti$) и Mg (катион. %) (Jensen and Pyke, 1982; Rickwood, 1989).

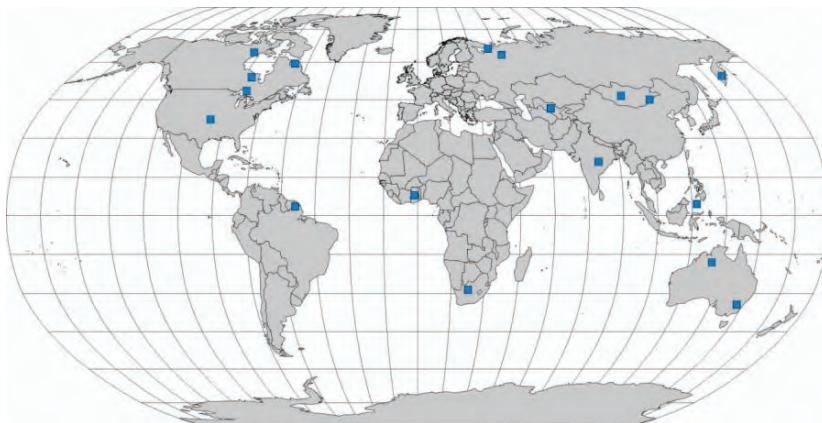


Рис. 29. Алмазные источники вулканических пород некимберлитового генезиса по данным С.М. Саблукова (2007).

11. Алмазы из карбонатитовых комплексов

В результате термохимического разложения карбонатитов было обнаружено более 200 зерен алмазов размером от 0,02 до 0,1 мм. Форма зерен преимущественно октаэдрическая желтовато-зеленоватой окраски, часто искаженная. Ребра зерен острые, грани гладкие.

Вероятно, их происхождение можно связать с условиями синтеза искусственных алмазов в карбонатитовой магма (флюидно-карбонатном расплаве, Ю.А. Литвин, и др., 1999). Можно предполагать содержание алмазов в породе порядка 2,5 карат на тонну.

Несомненно, эти немногочисленные данные необходимо подтвердить дальнейшими исследованиями и получить более достоверные результаты, которые касаются источника алмазов в этом комплексе пород.

12. Алмаз в продуктах извержения трещинного Толбачинского вулкана 2012-2013 гг., Камчатка, Россия

Алмаз обнаружен в небольшом количестве в пузыристых андезибазальтах трещинного извержения (Силаев и др., 2015). Они представляют собой хорошо образованные изометричные, плоскогранно-острореберные кристаллы размером до 700 мкм с примерно равновеликими гранями октаэдра и куба (рис. 30). В ИК-спектрах поглощения зарегистрированы только линии при 1345 и 1130 см^{-1} , отвечающие структурным С-дефектам. Изотопный состав углерода лежит в пределах $-27 \div -22 \text{‰ } \delta^{13}\text{C}$.

Своеобразие кристалломорфологических, спектроскопических, минералогеохимических и изотопно-геохимических свойств дает основание отнести авторам этого открытия толбачинские алмазы к флюидно-вулканогенно-эруптивному или толбачинскому генетическому типу.

Можно, конечно, говорить о новом «толбачинском» генетическом типе, но, как нам представляется, нуклеация алмазов происходит из флюидов, обогащенных углеродом, в камерах высокого давления. Возможно, это системы, обогащенные карбонатным материалом.

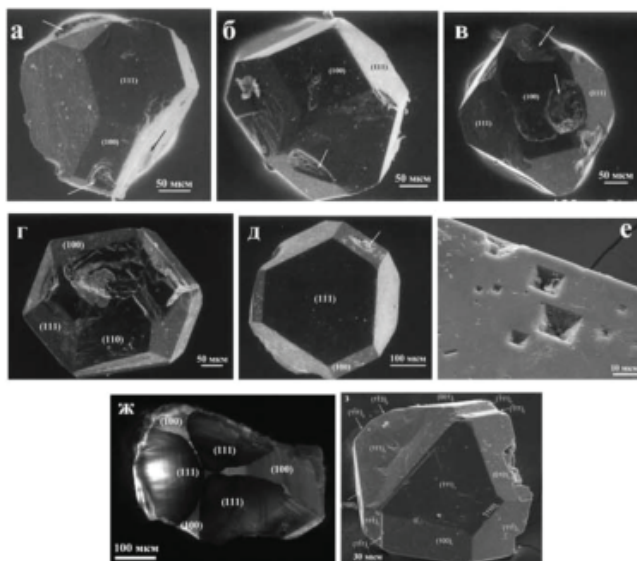


Рис. 30. Габитус индивидов (а-д), дислокационные ямки травления на кубической грани (е), картина аналитического строения (ж) и типичный двойник (з).

Заключение

Завершая данную тему необходимо акцентировать внимание, прежде всего, на временные рамки образования выделенных важнейших генетических типов алмаза. Это необходимо сделать, чтобы понять какое место занимает алмаз в общем эволюционном тренде главных минералов планет и в данном случае нашей планеты Земля. Проходит ли алмаз как сквозной минерал эволюционного тренда, или же он отмечает какой-то этап или некоторые этапы этого тренда. Это очень важно знать, чтобы еще в большей степени приблизиться к пониманию законов формирования нашей планеты. Ведь в основе формирования лежат минералы, их соединения и, в конечном итоге, породы, и их формирование происходит в разных физико-химических условиях, в разных средах, в разных режимах и т.д.

Нам представляется, и весь материал этой работы убеждает нас в этом, что алмаз – один из ведущих минералов неживой природы и важнейший временной репер процессов образования больших глобальных комплексов пород.

Посмотрим, в какие временные интервалы образуются тот или иной генетический тип алмаза:

1. Гигантские космические алмазы – порядка 11 млрд. лет
2. Алмазы из метеоритов – 5-4 млрд. лет
3. Алмазы из импактных структур – Попигайская структура - 37 млн. лет
4. Алмазы из метаморфических пород – разные временные рамки 4 млрд. лет → 520 млн. лет → 375-420 → 340 млн. лет → 210-250 млн. лет → 4 млн.
5. Алмаз из кимберлитов, лампроитов и мантийных пород – 3,5 млрд. лет и дискретно до времени образования кимберлитов
6. Алмаз из включений в коэситсодержащих хромитах (3-4 млрд. лет) и из хромититов офиолитов – палеозойские орогенные пояса
7. Алмаз из гранатовых пироксенитов, вебстеритов.
8. Графитизированный алмаз из гранатовых пироксенитов расслоенного плутона Бени-Бушера (Марокко)
9. Алмаз из известково-щелочных лампрофиров - минетт – 2,1 - 1,85 млрд. лет
10. Алмаз из коматитов – 2.1 млрд. лет
11. Алмаз из карбонатитовых комплексов – 250-200 млн. лет
12. Алмаз в продуктах извержения трещинного Толбачинского вулкана 2012-2013 гг., Камчатка, Россия

Из этого приведенного спектра генетических типов природного алмаза сразу бросается одна четкая особенность и закономерность. Многие важнейшие природные образования сопровождались образованием алмаза и алмазоносных пород, в том числе и многократно дискретно на новых этапах уровнях развития геосистем.

Важно подчеркнуть, что алмазообразование связано с эволюцией звезд и космических тел во Вселенной. Это начало, а далее по мере формирования планет все более и более расширяется спектр алмазоносных пород, наступает новый этап при формировании пород внутри планет. Образуются мантийные алмазоносные породы, метаморфические и т.д., и это дает нам возможность предложить новые гипотезы и концепции их образования, органично увязывая эти гипотезы с эволюцией планет Солнечной системы и планеты Земля, с зарождением и эволюцией новых звезд и всего космического пространства.

Обобщая рассмотренный выше материла, следует подчеркнуть, что наблюдаемая полигенность природного алмазообразования приобретает на сегодня глубокий генетический смысл. Очевидно, что сегодня мы прослеживаем образование алмазов во всем геологическом и историческом масштабе времени формирования звезд, планет и планеты Земля и в разных физико-химических обстановках (рассматривая РТ-параметры и среду кристаллизации).

Здесь же выявляется другая фундаментальная константа - дискретность природного образования, обусловленная различиями в возрасте кимберлитового, лампроитового и другого ультраосновного щелочного магматизма, гетерогенностью мантии Земли как по латерали, так и по глубине, связанной с геодинамическими процессами (субдукцией, спредингом, плюмами и др.), различным флюидным составом и режимом в области генерации алмазов.

В заключении необходимо сформулировать некоторые выводы о том, какие же новые аспекты природного алмазообразования можно наметить.

Как нам представляется, новые аспекты природного алмазообразования заключаются в том, что

Расширяется спектр генетических типов природного алмаза;

Расширяется спектр популяций (генераций) алмаза в мантии в значительном временном интервале от 3 млрд. лет до времени генерации протокимберлитовых расплавов;

Алмазы генерируются во всем глубинном интервале от 700 км до 150 км в ассоциации с минералами верхней мантии, переходной зоны и нижней мантии в строгом соответствии с РТ- параметрами этих глубин;

Некоторые генерации алмазов кристаллизуются в самом кимберлитовом расплаве;

Появляются новые данные экспериментальных работ в области кристаллизации алмаза, подтверждающие разнообразие условий формирования алмаза в природных системах;

Доказана кристаллизация природного алмаза разных системах, при этом наиболее популярна и обоснована гипотеза образования алмаза в мантии в силикатно-карбонатных системах («мантийно-карбонатитовая»), которые являются гетерогенной ростовой средой для доминирующей массы природных алмазов кимберлитовых и лампроитовых месторождений.

Уверены, что уже в ближайшее время нас ждут удивительные открытия в кристаллизации многих известных минералов, в том числе естественно и алмаза как в глубинах Земли и других планет Солнечной системы, так и в глубинах безбрежного космоса.

Список литературы

1. Бирюков В.М., Косыгин Ю.А. О находке аксессуарных алмазов в друзит-эклогитах некоторых полосчатых комплексов Прибайкалья. ДАН СССР, 1989, т. 306, № 5, с. 1204-1208
2. Бобров А.В., Литвин Ю.А. Перидотит-эклогит-карбонатитовые системы при 7.0-8.5 ГПа: концентрационный барьер нуклеации алмаза и сингенезис его силикатных и карбонатных включений. Геология и геофизика, 2009, 50, 12, с. 1571-1587
3. Богатиков О.А., Гаранин В.К., Кононова В.А. и др. Архангельская алмазоносная провинция (геология, петрография, геохимия и минералогия). М.: Изд-во МГУ, 1999, 524 с.
4. Богатиков О.А., Кононова В.А., Носова А.А., Каргин А.В. Полигенные источники кимберлитов, составы магм и алмазоносность (на примере Восточно-Европейской и Сибирской платформ). Петрология, 2009, т. 17, № 6, с. 651-671
5. Брахфогель Ф.Ф. Геологические аспекты кимберлитового магматизма северо-востока Сибирской платформы. Якутск, 1984, 128 с.

6. Вавилов М.А. Реликтовые алмазосодержащие ассоциации метаморфических пород Кокчетавского массива. Автореф. диссер. на соискание уч. степени канд. геол.-мин. наук, Новосибирск, 1995, 40 с.
7. Ваганов В.И. Алмазные месторождения России и Мира. М.: Геоинформмарк, 2000, 270 с.
8. Вальтер А.А., Фисенко А.В. Алмазы метеоритов. Метеоритика, 1991, № 50, с. 113 – 123
9. Варламов Д.Ю., Гаранин В.К., Кудрявцева Г.П. и др. Первая находка кристаллов алмаза в гранатах из слабобазгнейсованных гранитов. Материалы XIII конф. мол. ученых. Сер. Минералогия и петрология кимберлитов. Деп. в ВИНТИ, № 7087-B87, 1987, с. 171-179
10. Галимов Э.М., Слодкевич В.В. Зональность изотопного состава углерода графита в расслоенном магматическом плутоне. Геохимия, 1988, № 8, с. 1178-1186
11. Гаранин В.К., Кудрявцева Г.П., Марфунин А.С., Михайличенко О.А. Включения в алмазе и алмазоносные породы. М.: МГУ, 1991, 240 с.
12. Дигонский С.В. Модель образования природного алмаза: генетический, экспериментальный и поисковый аспекты. Автореф. диссер. на соискание уч. степени канд. геол.-мин. наук. М.: МГУ, 2005, 21 с.
13. Каминский Ф.В., Саблуков С.М. Нетрадиционные месторождения алмазов. Наука России, 2002, № 1, с. 4-12
14. Лаврова Л.Д. Новый тип месторождений алмазов. Природа, 1991, № 12, с. 62-68
15. Лаврова Л.Д., Печников В.А., Плешаков А.М. и др. Новый генетический тип алмазных месторождений. М.: Научный Мир, 1999, 228 с.
16. Литвин Ю.А. Физико-химические условия сингенезиса алмаза и гетерогенных включений в карбонатно-силикатных материнских расплавах (экспериментальное исследование). Минералогический журнал, 2013, 35(2), с. 5-24
17. Литвин Ю.А., Жариков В.А. Первичные флюидно-карбонатитовые включения в алмазе, моделируемые системой $K_2O-Na_2O-CaO-MgO-FeO-CO_2$, как среда алмазообразования в эксперименте при 7-9 ГПа. Доклады Академии наук, 1999, 367, 3, с. 397-401
18. Литвин Ю.А., Спивак А.В., Кузюра А.В. Основы мантийно-карбонатитовой концепции генезиса алмаза. Геохимия, 2016, 10, с. 873-892
19. Маракушев А.А., Митрейкина О.Б., Зиновьева Н.Г., Грановский Л.Б. Алмазоносные метеориты и их генезис. Петрология, 1995, т. 3, № 5, с. 451 – 468
20. Маракушев А.А., Грановский Л.Б., Зиновьева Н.Г. и др. Космическая петрология. М.: Наука, 2003, 389 с.
21. Маракушев А.А., Сан Лонкан, Бобров А.В. и др. Эволюция эклогит-гипербазитового складчатого пояса Сулу в Восточном Китае. Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 4. Геология, 2003, № 6, с. 27-36
22. Маракушев А.А., Бобров А.В. Метаморфическая петрология. М.: Наука, 2005, 256 с.
23. Мацюк С.С., Хоменко В.М., Слодкевич В.В., Гаранин В.К. О полигенетичности алмазоносных пород основного состава из кимберлитов и мафит-ультрамафитового Плутона Бени-Бушера. Минер. сборник Львовского ун-та, 1987, № 41, вып. 2, с. 18-25
24. Надеждина Е.Д., Шалашилина Т.Ю., Баевская Г.М. Типоморфизм некимберлитовых алмазов. Минерал. журн., 1993, т. 15, № 1, с. 9-19

25. Розен О.М., Зорин Ю.М., Заячковский А.А. К вопросу об алмазоносности седиментогенных метаморфических комплексов. В кн.: Литология и осадочная геология докембрия. М., 1973, с. 382-384
26. Саблуков С.М. Петрохимические серии кимберлитовых пород... Материалы Всероссийской конференции (Петрозаводск, 12–15 ноября), 2007, с. 315
27. Силаев В.И., Карпов Г.А., Ракин В.И., Аникин Л.П., Васильев Е.А., Филиппов В.Н., Петровский В.А. Алмазы в продуктах трещинного Толбачинского извержения 2012-2013, Камчатка. Вестник Пермского университета. Геология, 2015, вып. 1 (26), с. 6-27
28. Ситникова Е.С., Шацкий В.С. Новые данные о составе среды кристаллизации алмазов в метаморфических породах Кокчетавского массива по результатам ИК-Фурье спектроскопии. Геология и Геофизика, 2009, т. 50, № 10, с. 1095-1103
29. Слодкевич В.В. Параморфозы графита по алмазу. Зап. Всесоюз. минерал. о-ва, 1982, ч. 3, № 1, с. 13-33
30. Слодкевич В.В., Шафрановский Г.И. Алмазосодержащий флогопит-плагиоклазовый лерцолит Бельтауского расслоенного плутона (Узбекистан). ДАН СССР, 2000, т. 371, № 6, с. 793-796
31. Соболев Н.В. Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии. Новосибирск.: Наука, 1974, 264 с.
32. Соболев Н.В. Шацкий В.С., Вавилов М.А., Горяйнов С.В. Циркон высокобарических метаморфических пород складчатых областей как уникальный контейнер включений алмаза, коэсита и сосуществующих минералов. Докл. АН СССР, 1994, т. 334, № 4, с. 488-492
33. Туговик Г.И., Сафронов П.П., Кирасирова В.И. Кристалломорфологические особенности алмазов из рутил-сфеновых эклогитов. ДАН СССР, 1987, с. 187-191
34. Ульянов А.А. Процессы образования и эволюции минерального вещества на ранних этапах развития Солнечной системы (по метеоритным данным). Автореф. диссер. на соискание уч. степени доктора геол.-мин. наук., М.: 1997, 54 с.
35. Фельдман В.И. Астроблемы – звездные раны Земли. Соросовский образовательный журнал, 1999, № 9, с. 67-74
36. Фисенко А.В., Семенова Л.Ф. HL и N популяции зерен наноалмаза в метеоритах. Геохимия, 2005, № 2, с. 131-143
37. Харьков А.Д., Зинчук Н.Н., Крючков А.И. Коренные месторождения алмазов мира. М.: Недра, 1998, 555 с.
38. Шацкий В.С., Соболев Н.В., Заячковский А.А. и др. Новое проявление микроалмазов в метаморфических породах как доказательство регионального характера метаморфизма сверхвысоких давлений в Кокчетавском массиве. Докл. АН СССР, 1991, т. 321, № 1, с. 189-193
39. Akaogi M. Phase transitions of minerals in the transition zone and upper part of the lower mantle. In: Ohtani, E. (Ed.), Advances in High-pressure Mineralogy. Geological Society of America Special Paper 421, 2007, pp. 1–13
40. Bulanova G.P., Muchemwa E., Pearson D.G. et al. Syngenetic inclusions of yimengite in diamond from Sese kimberlite (Zimbabwe) – evidence for metasomatic conditions of growth. 8th Intern. Kimberlite Conf. Selected Papers, 2004, v. 2, p. 181-192
41. Burgess R., Kiviets G.V., Harris J.W. Ar-Ar age determinations of eclogitic clinopyroxene and garnet inclusions in diamonds from the Venetia and Orapa

- kimberlites. 8th Intern. Kimberlite Conf. Selected Papers, 2004, v. 2, p. 113-124
42. Capdevila R., Arndt N.T., Letendre J., Sauvage J.F. Diamonds in the volcanoclastic komatiite from French Guiana, 1999, *Nature*, 399, p. 456-458
 43. Corte K. De., Cartigny P., Shatsky V.S. et al. Evidence of fluid inclusions in metamorphic microdiamonds from the Kokchetav massif, northern Kazakhstan. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1998, v. 62, N 23/24, p. 3765-3773
 44. Daulton T.L., Eisenhour D.D., Bernatowicz T.J. et al. Genesis of presolar diamonds: Comparative high-resolution transmission electron microscopy study of meteoritic and terrestrial nano-diamonds. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1996, v. 60, N 23, p. 4853-4872
 45. Dawson J.B., Stephens W.E. Statistical analysis of garnets from kimberlites and associated xenoliths. *Journal Geology*, 1975, v. 83, p. 589-607
 46. Jaques A.L., Lewis J.D., Smith C.B. The kimberlites and lamproites of Western Australia. Perth, 1986, 268 p.
 47. Jensen L.S., Pyke D.R. 1982. Komatiites in the Ontario portion of the Abitibi belt in Arndt N.T. and Nisbet E.G., eds., *Komatiites*: London. Allen and Unwin. P. 147-158
 48. Hwang S.L., Pouyan S., Chu H.T. Genesis of microdiamonds from melt and associated multiphase inclusions in garnet of ultrahigh-pressure gneiss from Erzgebirge, Germany. *Earth and Planet. Sci Lett.*, 2001, v. 188, p. 9-15
 49. Izraeli E.C., Harris J.W., Navon O. Brine inclusions in diamonds: a new upper mantle fluid. *Earth and Planetary Science Letters*, 2001, 187, 323-332.
 50. Kaminsky F.V., Zakharchenko O.D., Davies R. et al. Superdeep diamonds from the Juina area, Mato Grosso State, Brazil. *Contrib. Mineral. Petrol*, 2001, v. 140, p. 734-753
 51. Klein-BenDavid O., Logvinova A.M., Izraeli E.S. Sulfide melt inclusions in Yubileinyan (Yakutia) diamonds. In: 8th International kimberlite conference extended abstracts. P.111
 52. Klein-BenDavid O., Wirth R., Navon O. TEM imaging and analysis of microinclusions in diamonds: a close look at diamond-growing fluids. *American Mineralogist*, 2006, 91, 353-365
 53. Kramers J.D. Pb, U, Sr, K and Rb in inclusion-bearing diamonds and mantle-derived xenoliths from southern Africa. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1979, 42, p. 58-70
 54. Lewis R.S., Anders E., Draine B.T. Properties, detectability and origin of interstellar diamonds in meteorites. *Ibid.*, 1989, v., 339, N 6220, p. 117 – 121
 55. McCandless T.E., Ruiz J.R., Adair B.I., Freydl C. Re-Os isotope and Pd/Ru variations in chromitites from the critical Zone, Bushveld Complex, South Africa, 1999, *Geochim. Cosmochim. Acta* 63, p. 911-923
 56. Melton C. E., Giardini A.A. The isotopic composition of argon included in an Arkansas diamond and its significance. *Geophysical Research Letters*, 1980, v. 7, p. 461-464
 57. Menneken M., Nemchin A.A., Geisler T. et al. Hadean diamonds in zircon from Jack Hills, Western Australia. *Nature*, 2007, v. 448, p. 917-920
 58. Mposkos E.D., Kostopoulos D.K. Diamond, former coesite and supersilicic garnet in metasedimentary rocks from the Greek Rhodope: a new ultrahigh-pressure metamorphic province established. *Earth and Planet. Sci. Lett.*, 2001, v. 192, N 4, p. 497-506
 59. Navon O. Diamond Formation in the Earth's Mantle. *Proceedings of the VIIth Intern. Kimberlite Conf.*, 1998, v. 2, p. 584-604

60. Ono, S., Yasuda A. Compositional change of majoritic garnet in a MORB composition from 7 to 17GPa and 1400 to 1600 °C, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 1996, v. 96, p. 171- 179
61. Pechnikov V.A., Kaminsky F.V. Diamond potential of metamorphic rocks in the Kokchetav Massif, northern Kazakhstan. *Eur. J. Mineral*, 2008, 20, p. 395-413
62. Richardson S.H., Gurney J.J., Ehrlank A.J., Harris J.W. Origin of diamonds in old enriched mantle. *Nature*, 1984, v. 310, p. 198-202
63. Richardson S.H. Latter-day origin of diamonds of eclogitic paragenesis. *Nature*, 1986, v. 322, p. 623-626
64. Richardson S.H., Ehrlank A.J., Harris J.W., Hart S.R. Eclogitic diamonds of Proterozoic age from Cretaceous kimberlites. *Nature*, 1990, v. 346, p.54-56
65. Richardson S.H., Harris J.W., Gurney J.J. Three generations of diamonds from old continental mantle. *Nature*, 1993, v. 366, p. 256-258
66. Rickwood P. C., 1989, Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements: *Lithos*, v. 22, p. 247-263
67. Roermund H.L.M., Carswell D.A., Drury M.R., Heijboer T.C. Microdiamonds in a megacrystic garnet websterite pod from Bardane on the island of Fjærtøft, Western Norway: Evidence for diamond formation in mantle rocks during deep continental Subduction. *Geology*, 2002, v. 30, N 11, p. 959-962
68. Sparks R.S.J., Folkes C.B. et al. , Uturuncu volcano, Bolivia : volcanic unrest due to mid-crustal magma intrusion. *American Journal of Science*, 2008, 308, p. 727-769
69. Sobolev N.V., Shatsky V.S. Diamond inclusions in garnet from metamorphic rocks: A new environment for diamond formation. *Nature*, 1990, 343, p. 742-746
70. Schrauder M., Navon O. Hydrous and carbonatitic mantle fluids in fibrous diamonds from Jwaneng, Botswana. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1994, 58, 761-771
71. Takaoka N., Ozima M. Rare gas isotopic compositions in diamonds. In.: *Terrestrial Rare Gases*, Eds. E.C. Alexander, Jr. and M. Ozima, Cent. Acad. Publ. Japan. Tokyo, 1978
72. Xu S., Liu Y., Chen G. et al. New finding of microdiamonds in eclogites from Dabai-Sulu region in central eastern China. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48, p. 988-994
73. Xu S., Liu Y., Chen G. et al. Microdiamonds, their classification and tectonic implications for the host eclogites from the Dabai and Su-Lu regions in central eastern China. *Mineralogical Magazine*, 2005, v. 69 (4), p. 509-520
74. Yang J-S., Dobrzhinetskaya L., Bal W-J. et al. Diamond- and coesite-bearing chromitites from the OLuobusa ophiolite, Tibet. *Geological Society of America*, 2007, v. 35, 10, p. 875-878
75. J. Yang, P.T. Robinson, Y. Dilek Diamond-bearing ophiolites and their geological occurrence. *Episodes*, 2015, v. 38. No.4, p.344-364
76. Zedgenizov D.A., Kagi H., Shatsky V.S., Sobolev N.V. Carbonatitic melts in cuboid diamonds from Udachnaya kimberlite pipe (Yakutia): evidence from vibrational spectroscopy. *Mineralogical Magazine*, 2004, 68, 61-73



Кривицкий Владимир Алексеевич, ст. научный сотрудник Музея Землеведения Московского Государственного Университета имени М.В. Ломоносова. Закончил Московский геологоразведочный институт им. С. Орджоникидзе в 1978 году. Основные научные интересы - планетология, космохимия, геохимическая эволюция Земли, рудогенез. Автор трех монографий и более пятидесяти научных статей.



Старостин Виктор Иванович – профессор, доктор геолого-минералогических наук, окончил геологический факультет Московского Государственного университета (МГУ) им. М.В. Ломоносова в 1962г. Заведующий кафедрой геологии, геохимии и экономики полезных ископаемых Геологического факультета МГУ. В.И. Старостин является действительным членом РАЕН и МАН ВШ, председателем секции «Наук о Земле»; председателем Общественного Фонда им. академика В.И. Смирнова (создан в МГУ в 1993г.), заслуженным деятелем науки РФ (1996), заслуженным профессором МГУ (2008), лауреатом Ломоносовской премии МГУ первой степени по науке (1999), лауреатом Ломоносовской премии МГУ по педагогике (2014). В Московском университете читает курсы лекций: Геология твердых полезных ископаемых, Генезис месторождений, Металлогения, Прикладная металлогения, Эндогенный и экзогенный рудогенез, Минеральные ресурсы и цивилизация (МФК).

В.А. Кривицкий, В.И. Старостин **КОНЦЕПЦИЯ КЛАСТЕРНОЙ ЭВОЛЮЦИОННОЙ МИНЕРАГЕНИИ** **И ФОРМИРОВАНИЕ КИМБЕРЛИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Большой фактический материал о процессах природного алмазообразования, алмазонасных породах, их минерагении и петрохимии, возрасте кимберлитовых тел и положении их в разрезе верхняя мантия – литосфера – земная кора, а также данные о зональности кимберлитовых провинций приводит к необходимости переосмысления всего эмпирического материала и к высказыванию новых оригинальных гипотез и точек зрения на процессы образования кимберлитов и природного алмазообразования в них.

Несмотря на невероятное разнообразие условий рудообразования в пространстве и времени генеральный абрис этих процессов прописан по единому сценарию. Длительная история формирования Земли в сложнейшей термодинамической и астрофизической обстановке космического пространства существенно завуалировала подлинный ход событий и породили массу всевозможных гипотез, псевдотеорий, суждений, концепций и парадигм. В связи с этим в научном сообществе укоренилось скептическое отношение ко всяким новациям. Поэтому очень живучи устоявшиеся парадигмы. История геологической науки в этом плане не исключение. Консерватизму представлений способствует и невероятно дробная узкая специализация. Тем не менее лакмусовой бумажкой в море идей является постулат «Новая парадигма должна надстраивать все предыдущие представления, не отвергая их, но по иному, объясняя нестыковки в прежних суждениях». Открытие в конце XX века экзопланет наиболее грандиозное событие в естественных науках. Оно не только существенно изменит наши представления о вселенной, но и дает ключ к новым открытиям в геологии, химии, физике и других науках. Особенно подобная перестройка необходима геологам. Все планеты Солнечной системы – те же самые экзопланеты, открываемые астрофизиками в космических мирах.

В настоящее время в фокусе интересов теоретической геологии находится проблема происхождения Земли и характер начального этапа ее эволюции,

определивших дальнейшее развитие геотектонических процессов. Накопился обширный фактический материал по различным разделам наук о Земле, включающим эволюцию химического вещества, геодинамические процессы в тектоносфере, цикличность магмообразования, сравнительную планетологию и другие смежные дисциплины. Все эти достижения в той или иной степени начинают испытывать определенные затруднения в их системном осмыслении. Действительно, до сих пор не разработана единая целостная концепция, общая теория развития Земли, которая покоилась бы на ясном понимании какие источники энергии и вещества определяют тектонические движения и перераспределение крупных масс вещества в недрах Земли, поддерживают её магнитное поле, точнее электрические токи его порождающие, создают тепловые потоки на континентах, отвечают за петрогенез, приводят к накоплению полезных ископаемых и т. д.

Однако разработка системного знания, о всех этапах развития Земли невозможна без учёта современных достижений астрофизики. Они включают уточняющиеся представления о природе нейтронных звезд, открытие экзопланет и, даже, целых планетарных систем с одной стороны. А с другой стороны совершенствуются наши представления о строении атомных ядер, например, их α -кластерной структуре. И, как известно, именно ядерные реакции, происходящие в недрах звёзд и планет, могут служить основным источником энергии. Мы предлагаем решить поставленную выше энергетическую проблему, исходя из открытия кластерного распада тяжелых и сверхтяжелых химических элементов. По нашему мнению, новая постплейттектоническая глобальная тектоника должна базироваться на идее развития Земли из первичного звездного вещества, которое сохранилось в ядрах планет. Последовательная его деструкция, как следствие распада тяжёлой ядерной материи в протопланетах, в которых гравитационные силы сжатия не столь велики, как в звёздах, приводит к его фрагментации вплоть до появления сверхтяжёлых элементов с дальнейшей их ядерной диссоциацией. В результате уже на уровне вещества эти процессы приводят к возникновению первичной протомагмы, которая периодически поступает в верхнюю мантию в виде однонаправленных плюмо-апвеллинговых потоков. Этот процесс поддерживает протекание химических реакций, в результате которых образуется всё то множество химических элементов, из которых постепенно складывается верхняя мантия и земная кора. Процессы ядерной диссоциации приводят к выделению энергии и разуплотнению вещества, что, в свою очередь, приводит к росту объема Земли, ее геотектонической активности, магматическим потокам и образованию горных пород, а также возникновению гидросферы и атмосферы.

Следует отметить еще одно очень важное наблюдение. На протяжении уже более века остается открытым вопрос о происхождении химических элементов в таком разнообразии и такой степени рассеяния, которое мы наблюдаем в объектах Солнечной системы. До сих пор ни одна космогоническая гипотеза, основанная на том, что исходным веществом для формирования Солнечной системы послужила межзвездная пыль и газы, не дает этому объяснения. Именно это вынуждает исследователей привлекать воздействие посторонней силы, например, взрыва Сверхновой звезды вблизи Солнечной системы. Вообще, следует отметить, что в последнее время очень велико увлечение «катастрофизмом». Это, к сожалению, отражает реальную ситуацию народонаселения, в том числе и учёных, ощущающих приближение социально-экономических и экологических потрясений. В то же время, гораздо легче все крупные скачки эволюции списывать на «катастрофы»: от взрыва Сверхновой до падения крупных метеоритов и тому подобное. Труднее, искать и разрабатывать эволюционные модели вещества, не исключая, конечно, и случайности. Следует также отметить, что катастрофические модели полностью отвергаются наличием во Вселенной

огромного множества экзопланет, во что верил ещё Джордано Бруно. Именно за эту веру его и возвели на костёр.

Совокупные данные о возрасте Солнца и планет, если его отсчитывать от фазы, в которой эта система представляла собой ядерное вещество, убеждают в том, что дальнейшая его эволюция определяется деструкцией этого вещества и последующей дезинтеграцией в тяжелые ядерные молекулы, а затем в сверхтяжелые и тяжелые химические элементы. Формы же и темпы этой эволюции прежде зависят от того, в каких объемах происходят ядерные трансформации и в какой среде находятся продукты его фрагментации.

Анализ разработок новых космогонических идей показал, что классические теории, построенные на идее гравитационной конденсации звезд и галактик из диффузионного вещества, представляют собой первый этап в процессе звездообразования, который протекает, по современным представлениям, в следующей последовательности. Газопылевое облако по мере его роста и раскручивания фоновыми потоками, прежде всего нейтринными, теряет устойчивость и начинает коллапсировать. В ходе этого процесса в центральной зоне возрастает концентрация вещества и появляется активная зона – зародыш звезды, протозвезда. В результате возрастает напряжённость стягивающих гравитационных сил, вещество приходит в движение и энергия гравитации превращается в кинетическую энергию движения, которая затем переходит в энергию тепла. По мере накопления протозвездой большого количества вещества, ее температура возрастает до миллионов градусов, а давление - до миллиона атмосфер. В таких условиях отдельные нуклоны и легкие ядра атомов сближаются и сливаются с выделением огромной энергии. Начинается процесс активного нуклеосинтеза, при котором рождается всё многообразие химических элементов, вплоть до сверхтяжелых элементов – так называемого «острова стабильности» с порядковыми номерами от 112 до 128 элемента, а может быть, и выше. Протозвезда начинает жить, выбрасывая во Вселенную тепло и излучение.

Второй этап развития протозвезд протекает по следующему сценарию. В зависимости от массы и интенсивности процесса нуклеосинтеза наступает момент, когда быстро вращающаяся протозвезда теряет свое внутреннее равновесие и начинает делиться на две, почти равные по массе части, или просто выбрасывать в окружение своей орбиты звездное вещество, синтезированное ранее. В результате этого в околозвездном пространстве в пределах между двойными звездами возникают планетарные системы, где ядра планет сложены первичным звездным веществом, которое было образовано в результате нуклеосинтеза в первичной протозвезде. Это – как бы капельки расплескавшегося первичного звездного вещества, которое в дальнейшем эволюционирует по другим законам и, прежде всего, на основе второго начала термодинамики и энтропии, понимаемой не как меры теплового беспорядка в какой-либо субстанции, а как сравнительной характеристики меры беспорядка в двух слабозаимодействующих системах (бассейнах на языке математиков, коими мы назовём в данном контексте излучением и теплотой).

Прямые наблюдения экзопланет, которых за последние шестнадцать лет открыто несколько тысяч, показывают, что многие такие планетарные системы имеют одинаковый или близкий возраст со своими звездами, которые представляют собой коричневые карлики или спутники в виде нейтронных звезд. Установлено, что эти планеты формируются гораздо быстрее, чем следует из общепринятых моделей рождения и эволюции планет. Рассмотрим некоторые наиболее достоверные эмпирические факты на основе прямых наблюдений экзопланет, которые позволяют утверждать, что с позиций теории образования планет из протопланетного газопылевого облака, объяснить возникновение планетных систем невозможно.

1. Анализ всего материала по массам, размерам и орбитам вращения экзопланет указывает на то, что ядра самих планет должны быть сложены из плотного дозвездного вещества иначе они не смогли бы сформироваться за столь короткое время. На это указывает ещё и то, что соотношение диаметра и массы планет всегда следует определённой закономерности, из чего бы эта планета не состояла; "газовый гигант" или плотное кристаллическое вещество.

2. Найдены экзопланеты, которые очень сильно удалены от своих звезд и имеют значительные массы. Обнаружение столь удаленных экзопланет от звезды хозяйки, также ставит под сомнение общую теорию образования этих небесных тел.

3. Другой пример. В планетной системе Kepler-36 открыты экзопланеты, находящиеся необычно близко со звездой, имеющие значительную разницу по плотности и массе, но при этом их орбиты стабильны. Они не испытывают приливные воздействия во время своего сближения друг к другу.

4. Такое состояние экзопланет, в планетной системе, может быть объяснено, только тем, что эти планеты находятся в двойной звездной системе. Ранее считалось, что планеты в двойных системах формироваться не могут вообще, поскольку гравитационное поле одной из звезд должно было бы препятствовать возникновению на орбите другой, будущей планеты, состоящей из газопылевого облака. Правильно считали. Новые открытия экзопланет в двойных звездных системах, только убедительно подтверждают, что экзопланеты, планетарные системы, возникают, как отдельные массивные "капельки" звездного вещества в процессе образования двойных звездных систем. На сегодняшний день твёрдо установлено, что в двойных звездных системах формируются каменные планеты, на подобии Земли, даже высказано предположение, что именно на этих экзопланетах может существовать жизнь.

5. Другой важной особенностью открытых экзопланет, являются их траектории движения, которые объяснить со старых космогонических позиций невозможно. Суть в том, что очень часто, открытые экзопланеты, имеют различные углы наклона траекторий движения, относительно экваториальной плоскости звезды; от 150° до 180° , что говорит о том, что некоторые планеты вращаются против направления вращения светила, или вообще имеют угол 90° к плоскости экватора, что означает, что экзопланета вращается вокруг звезды по полярной орбите.

Все эти перечисленные наблюдательные факты свидетельствуют только об одном - первоначальная природа возникновения экзопланет весьма сложное явление и требует пересмотра общепринятой теории образования планетных систем из газопылевого облака.

Многие открытия в области астрономии позволяют считать, что неустойчивость, нестационарность, постоянные изменения являются характерной чертой глобальных космогонических процессов, происходящих во Вселенной. Причем, как отмечал В.А. Амбарцумян, эти изменения носят «необратимый характер. Циклические изменения в них если и происходят, то лишь как элементы общего необратимого изменения структуры этих объектов». «Распад и рассеивание (в полном соответствии со вторым началом термодинамики) характеризуют общую направленность процессов в нашей Галактике» [Амбарцумян 1960, 1968].

Принимая во внимание, что второе начало имеет тот же статус, что и закон сохранения энергии, и его действия не только не противоречат развитию Вселенной, но напротив, сам принцип развития находит свое естественнонаучное обоснование во втором начале термодинамики, - мы можем утверждать, что происхождение Солнечной системы может быть понято только в рамках общей теории развития звезд в рамках эволюции их галактик. Из этого следует очень важный, определяющий все дальнейшее методологическое развитие геологических наук постулат. Ядро Солнца и ядра планет Солнечной системы содержат и сохраняют в себе остатки звездного вещества, а планеты

начали и продолжают свое развитие достаточно долго как объекты звездной природы. Естественно, что процессы эволюции каждой планеты совершаются по своим закономерностям, в которых самым главным является их первоначальная масса и объем. Меньшие «выгорают» раньше, как и звёзды.

Только теперь, столкнувшись с общепланетарной проблемой энергии и происхождения химических элементов, мы все больше начинаем понимать, насколько был прав В.А. Амбарцумян, который на основе теоретических и наблюдательных данных первый высказал предположение о том, что ядра планет – это звездное вещество, еще сохранившее запасы или источники звездной энергии. Фаза планет, поэтому может оказаться дальнейшей фазой распада и дезинтеграции звездного вещества [Амбарцумян 1960]. В тридцатых годах прошлого столетия подобную мысль на космогоническом уровне высказал А.Е. Ферсман: «Дальнейшая эволюция звездных миров, вероятно, может быть связана с ослаблением процесса образования более тяжелых атомов и постепенным распадом этих элементов вплоть до тех же элементов с порядковыми номерами от 6 до 28» [Ферсман 1939].

Наша концепция строже и конкретнее. Мы говорим, что только допущение о том, что ядра будущих планет первоначально являются центрами конденсации ядерной протоматерии, затем в состоянии кластерной «атомизированной» ядерной материи и лишь потом кластерной «молекулярно-ядерной» материи. И окончательно в связи с распадами радиоактивных ядер в составе ядерных молекул в ядерной среде появляются электроны (соотнесем это со смешанной фазой белый карлик - нейтронная звезда!) стабилизирующие, как теперь мы знаем радиоактивные ядра, продуцируются сверхтяжелые и тяжелые химические элементы, в свою очередь создающие молекулярное вещество. Но самое главное в цепи этих процессов наследуются следы генетической «памяти ядерных форм» первоначальных связей протоядерных фрагментов в веществе, состоящем уже из «обычных» химических атомных и молекулярных объектов!

В результате процессов ядерной диссоциации и синхронизации осцилляторов в магматических очагах и во флюидо-динамических системах в литосферу и земную кору поступает основное количество образующихся химических элементов, которые можно рассматривать как множества. В основном подобные множества возникают в нелинейных динамических системах и, в первую очередь, в дискретных динамических системах. Подобные множества являются динамическими фракталами.

Можно предположить, что в литосфере и земной коре в результате процессов ядерной диссоциации возникают и развиваются структуры симметрий, которые представляют два наиболее простых типа фракталов. Первые – это фракталы-дендриты, в которых происходит разбиение какого-либо множества на группы из двух элементов, имеющих сходство с двоичной системой счисления. Другие фракталы – это множество Кантора или пыль Кантора.

Фрактальные свойства пыли Кантора имеют большое значение в геохимической природе Земли. Для нас же это особенно важно еще и потому, что многие фракталы обладают подобными свойствами множества. Представляя химические элементы как Канторову пыль, образующуюся в результате процессов ядерной диссоциации осцилляторов и кластерного радиоактивного распада, мы, наконец, подходим к решению первичной проблемы геохимии – проблеме рассеяния химических элементов в литосфере и земной коре [Кривицкий 2003].

Таким образом, только вся эта цепочка описанных превращений, совмещенная одновременно в достаточно мощном космологическом теле как наша Земля может дать ответ на вопрос о том, в какой стадии эволюции находится наша планета. Притом уже давно установлено, что распады известных радиоактивных элементов в составе Земли не приводят к балансу ее теплотворности. Только учет всех стадий в развитии планеты,

когда превалировала деятельность той или иной оболочки или центрального ядра, сохраняющего запасы или источники ядерной энергии, может, наконец, дать объяснение всей совокупности геодинамических явлений на Земле, эволюции вещества Земли и эруптивных процессов на планетах и их спутниках в Солнечной системе.

Принимая, что первичное внутреннее ядро Земли складывается из сверхтяжелого и сверхплотного ядерного вещества, являющегося первоначальным источником звездной энергии, можно считать, что Земля прошла через следующие этапы своего развития:

Образование конвективной зоны с испусканием электромагнитного, нейтринного, мезон-барионного (в том числе кластерного, в виде ядерно-молекулярного) потоков, генерируемых на самой ранней стадии за счёт первичного внешнего по отношению к зародышу протопланеты вещества, аккрецированного из окружающего его пространства.

Конденсации вещества в конвективной зоне за счёт внутренних процессов: образованием слоя из продуктов ядерной диссоциации и дезинтеграции протоядерного звездного вещества в центральной зоне зародыша протопланеты;

Уплотнение конденсата за счёт растущих сил гравитации с последующим остыванием верхних слоёв, создающих земную кору, верхнюю мантию и буферный слой, астеносферу.

Итак, предлагаемая последовательность эволюции Земли приводит к осознанию того, что процессы деструкции и ядерной диссоциации звездного вещества в конечном итоге приводят к образованию химических элементов и их изотопов, которые в свою очередь рожают кристаллографические структуры, минералы и их симметрии. Химические реакции образования сложных молекул из атомов, сами по себе затратные, так как что-то должно свести, сблизить, «притолкнуть» (термин А.Ф. Черняева, вскрывающий сущность гравитации!) атомные ядра, атомы, вступающие во взаимодействие. Но они *in sum* оказываются экзотермическими, с выделением свободной энергии. Происхождение её нам ясно и на это указывает весь опыт нанофизики. Действительно, необычные свойства наночастиц и нановещества, определяются тем, что они состоят целиком из поверхностного слоя «напряженных» (притиснутых!) молекул. Находящаяся в этих «пружинах!» энергия, в конечном счете, является главным двигателем всего многообразия геологической жизни Земли. Отсутствие понимания ядерно-химической эволюции вещества необоснованно приводит к геотектоническим нагромождениям в стремлении объяснить образование тех или иных комплексов пород от ультраосновных до ультракислых интрузивов и их эффузивных аналогов.

Следует признать, что движущей силой тектонических процессов и главной причиной развития Земли является общая генерация вещества и энергии, а также и направленный энерго-массоперенос из центральной части ядра планеты к ее поверхности. Энергия и вещество выделяются и образуются в результате деструкции глубинного вещества ядра планеты, на что указывают основные законы квантовой физики. Таким образом, вещество выделяет свою энергию, прежде всего, в процессах своей деструкции и дезинтеграции при распространении энергии поверхностных оболочек молекул, атомов, ядер, нуклонов на большие объемы окружающего их пространства. Это и подразумевается под энергиями «нулевых» колебаний, которые не утилизированы в современных моделях квантовой теории поля. Тут практически следует изменить саму парадигму КТП, начиная с изгнания в ней не только нулевых, но и отрицательных энергий, длин рассеяния и прочего недостроя. Но здесь мы этим заниматься не будем, а вернемся к главной теме нашей статьи.

Обширный материал, накопившийся в результате глубинного обследования Земли методом сейсмической томографии, генерализация деталей геологического

строения Земли в результате космических исследований дают основание предположить, что Земля прошла период нуклеарного структурообразования земной коры как результат постоянно действующего плюмоподобного апвеллинга «мантийного плюмажа». Указанный процесс позволит понять морфологию и стадийность становления нуклеарных структур, природу петрогенеза, петрохимии, геохимии горных пород, обосновать природу флюидодинамики и образования месторождений полезных ископаемых на основе изначальной ядерной диссоциации протоядер и атомных ядер химических элементов в процессе эволюции вещества плюма-нуклеара. Детально этот процесс рассмотрен в работе [Кривицкий, 2016].

Гипотеза кластерной эволюционной минерагении.

Идея о важной роли процессов радиоактивного распада в эволюции нашей планеты впервые была высказана в середине XX века В.И. Вернадским в работе «Химическое строение биосферы Земли и её окружение» [1965]. В.И. Вернадский писал «Радиоактивный распад химических элементов – превращение одного изотопа в другой – есть не частный случай, а общее свойство земного вещества. Все химические элементы Земли находятся в радиоактивном распаде. Это основной физико-химический процесс, лежащий в основе всех геологических процессов». Однако научное сообщество было не готово принять эту гипотезу и она была забыта на столетия. Активное развитие идеи кластерного радиоактивного распада и ядерной диссоциации химических элементов осуществил В.А. Кривицкий в серии экспериментальных работ и научных публикаций [2003, 2011, 2013, 2014, 2016]. Развитие идей, высказанных В.И. Вернадским, стало возможным благодаря достижениям физических наук в ядерной физике за последние 30 лет. Вот основные открытия, которые позволяют по-новому взглянуть на ядерную материю и строение атомного ядра.

- Признание кластерной квазикристаллической структуры атомного ядра;
- Открытие кластерного радиоактивного распада атомных ядер;
- Открытие газовых свойств сверхтяжелых атомных ядер;
- Экспериментальное доказательство изменения времени полураспада атомных ядер. Ионизация атома приводит к сокращению периода полураспада в 9 раз.
- Синтез сверхтяжелых атомных ядер с порядковыми номерами 116-126 и
- открытие подобных ядер в грязевых вулканах.

Отметим наиболее интересные реакции радиоактивного распада, открытые за последние годы (рис. 1).

Особое место в ряду примеров ядерной диссоциации и кластерного радиоактивного распада, занимает обнаружение в 1972 году, природного ядерного реактора (Габон, месторождение Окло), где были открыты и описаны ядерные реакции деления атомных ядер урана. Деление урана-235 – это образование осколков разнообразных атомных ядер с массовыми числами от 70 до 170. Хорошая треть таблицы элементов - от цинка до лютеция. В зоне цепной реакции появляются элементы с искажённым изотопным составом. У рутения из Окло, например, втрое больше, чем в природном рутении, ядер с массовым числом 99. В цирконии в пять раз вырастает содержание изотопа ^{96}Zr . ^{149}Sm превратился в ^{150}Sm , и его в одной из проб оказалось в 1300 раз больше, чем должно было быть. Таким же путем в 100 раз возросла концентрация изотопов ^{152}Gd и ^{154}Gd . (рис. 2).

В.А. Кривицкий впервые сформулировал гипотезу кластерной эволюционной минерагении, согласно которой эндогенные рудные месторождения в полном объёме (рудные и нерудные минеральные ассоциации и вмещающие их породы) представляют раскристаллизовавшееся вещество, возникшее в результате кластерного радиоактивного распада и ядерной диссоциации гипертяжелых, сверхтяжелых, трансурановых химических элементов – урана, тория и лантаноидов, поступающих из астеносферы

Земли в газообразной форме и в составе газовой-жидких флюидов (литосферных фумарол).

Каждый эндогенный магматический очаг - ядерно-химическим реактор, в котором происходят процессы дезинтеграции глубинных осцилляторов и образование минеральных комплексов, протекающие в трех направлениях:

- Ультрабазитовые магмы и эффузивы – открытые системы (базальтовые покровы);
- Ультраосновная магма и её щелочные аналоги, кимберлиты, карбонатиты, а также кислая магма: граниты и гранитоиднейсы – закрытые системы;
- Литосферные рудоносные фумаролы, ювенильные газовые потоки и растворы, образование атмосферы, гидросферы и углеводородной сферы.

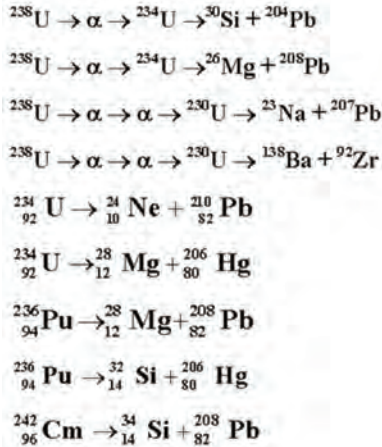


Рис. 1. Примеры кластерного ядерного распада трансурановых элементов.

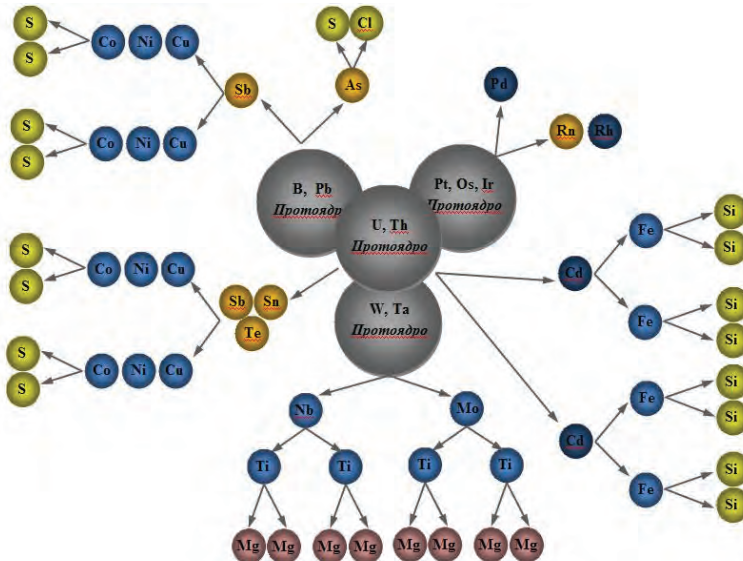


Рис. 2 Вероятная схема диссоциации протоядерного магматического материала с образованием ядер химических элементов.

Следствием трансформации первичного звездного вещества является сокращение скорости вращения Земли и пульсационное увеличение её объема.

В результате возникают гетерогенные тектонофизические поля напряжений и деформации верхней мантии, литосферы и земной коры. Происходит направленное эволюционное развитие нашей планеты, её геотектоники, геофизических и геохимических полей, формирование разноранговых минерагенических структур и концентрация в их пределах минеральных ресурсов. Эндогенные рудные месторождения и вмещающие горные породы представляют собой раскристаллизовавшиеся в процессе кластерной ядерной диссоциации, атомные ядра сверхтяжелых, трансурановых химических элементов, урана, тория и лантаноидов, поступающих из астеносферы Земли в газообразной форме и в составе газовой-жидких литосферных фумарол. Геохимическая эволюция магматизма Земли является необратимым процессом кластерной ядерной диссоциации атомных ядер химических элементов, которая определяет собой единую генетическую связь тектономагматического развития земной коры, литосферы с эволюцией глубинного вещества планеты.

В работе [Кривицкого 2012], на примере многочисленных геологических исследований, выделено три основных этапа в истории развития Земли:

I. догеологический – продолжительностью 4,6 - 4,2 млрд. лет,

II. нуклеарный – 4,2 - 2,0 млрд. лет и III. этап пульсационного расширения – $1,9^{+0,1}$ – до современного периода (рис. 1, рис. 2).

В свою очередь на нуклеарном этапе выделяются следующие три стадии:

1. протоконтинентальная (4,2 - 3,6 млрд. лет),
2. континентальная (3,6 - 2,6 млрд. лет) и
3. суперконтинентальная (2,6 - 2,0 млрд. лет).

Этап пульсационного расширения Земли, представляет собой единый континентально-океанический период продолжительностью $1,9^{+0,1}$ млн. лет. На указанном этапе выделяются две планетарные геодинамические обстановки, развивающиеся практически одновременно:

1. тектоно-магматической активизации континентальной коры;
2. геодинамического развития континентальных окраин и становления океанической коры.

Догеологический этап становления Земли. Образование конвективной зоны с испусканием электромагнитного, нейтринного, мезон-барионного (в том числе кластерного, в виде ядерно-молекулярного) потоков, генерируемых на самой ранней стадии развития планеты (экзопланеты) за счёт первичного, внешнего по отношению к зародышу протопланеты, вещества. Конденсация вещества в конвективной зоне за счёт внутренних процессов: с образованием первичной земной коры из продуктов ядерной диссоциации и дезинтеграции протоядерного звездного вещества в центральной зоне зародыша протопланеты; Уплотнение конденсата за счёт растущих сил гравитации с последующим остыванием верхних слоёв, создающих верхнюю мантию, земную кору и астеносферу.

Формирование земной коры. Становление первичной коры происходило в первые 400 млн. лет начального этапа развития Земли. Она была ультрабазит-базитового состава. Первичная кора формировалась из частиц, возникших при средних и высоких температурах (400° – 950° C) и низких давлениях от 10^{-2} до 10^{-6} атм. В её состав входили, как простые агрегаты твердого конденсата, так и хондры – кристаллизовавшиеся из расплавов при конденсации газовой-жидких растворов, либо в результате прямых процессов ядерной диссоциации протоядер и атомных ядер. Именно по этой причине в метеоритном веществе, аналоге хондритовой коры, имеется обилие минералов и химических соединений, не характерных для дальнейшей истории химической эволюции Земли. Главными химическими элементами первичной коры были C, O, Mg,

Al, Si, S, Ca, Fe и минералы, которые эти элементы образовывали: оливин, гиперстен, диопсид, полевой шпат и др. Хондритовая кора представляла собой весьма тонкую, мощностью от 1,0 до 3,0-5,0 км, пластичную, гетерогенную разогретую поверхность, которая являлась хорошим проводником тепла и летучих компонентов.

Эволюция Земли на этапе пульсационного расширения будет рассмотрена ниже совместно с процессами образования карбонатитов и кимберлитов.

Особо следует остановиться на природе галактической цикличности в развитии Земли в фанерозое. Подробно это явление рассмотрено в работе [Кривицкого 2016]. Исходя из современного понимания строения нашей Галактики и положения в ней Солнечной системы, рассмотрим природу Галактической цикличности в истории развития Земли исходя из представления, что Солнечная система располагается в кортационной зоне нашей Галактики.

В периоды выхода Солнечной системы из зоны кортации под воздействием интенсивных потоков жесткого космического излучения, в которых заметную роль играют высокоэнергичные нейтрино происходит реакция вещества, слагающего внутреннее ядро Земли, в результате чего в мантию выделяется большое количество тяжелых и сверхтяжелых атомных ядер которое направляется к литосфере, в результате ядерной диссоциации этого вещества, образуются легкие литофильные и летучие химические элементы, что приводит к воздыманию литосферы и земной коры и к увеличению радиуса Земли. После того как Солнечная система возвращается в зону кортации реакция галактического нейтрино с веществом ядра Земли затухает, и как результат этого, литосфера и земная кора начинают сжиматься, вызывая интенсивное газо-флюидное выделение вещества планетарных фумарол. В момент сжатия, происходит впрыскивание газовых литосферных фумарол в земную кору из подпирающих астеносферных плюмо-апвеллинговых куполов, так как газовая фаза сконцентрирована в верхней части плюма. Данные фумаролы являются производными первичной протоматмы, эволюция которых приводит к последовательному становлению ультрамафитов, щелочных пород, карбонатитов и кимберлитов, как продуктов раскристаллизации планетарных фумарол. Следует отметить, что указанный эволюционный процесс имеет общие черты состава массивов во всех провинциях мира. Карбонатиты и кимберлиты возникают в результате кристаллизации, прежде всего газов насыщенных тяжелыми и сверхтяжелыми ядрами химических элементов из острова стабильности и более массивных ядерных осцилляторов. Происходит этот процесс по следующей схеме: сверхтяжелое ядро → элемент → минерал → гидротермальный раствор, так как конечным продуктом всех процессов ядерной диссоциации являются водород, гелий, углерод, азот, кислород и другие ядерные кластеры (рис. 3).

Природа указанных геологических явлений планетарного масштаба, как и многих других эндогенных процессов, может быть достаточно надежно объяснена на основе предложенной концепции ядерной диссоциации тяжелых и сверхтяжелых атомных ядер первичного звёздного вещества, которое еще сохранилось в ядре планеты. Активизация эндогенных процессов в планетарном масштабе связана с тем, что в момент выхода Солнечной системы из зоны кортации, резко увеличивается поток галактического нейтрино, обильно рождаемого в новых и сверхновых звездных объектах [Бакал, 1993; Бескин, 1987]. Нейтринные потоки инициируют ядерную диссоциацию сверхтяжелых атомных ядер и ядерных кластеров в ядре Земли и в рождающихся плюмах-апвеллингах, поднимающихся затем к поверхности земной коры. Развитие теории слабых взаимодействий, к которым относятся реакции с нейтрино, показало, что слабые взаимодействия лишают стабильности одни формы вещества, не затрагивая другие. Основная роль слабых взаимодействий – в осуществлении распада частиц. Процесс этот тем значительнее, чем выше плотность вещества и грандиознее масштабы явления [Широков, 1980; Шкловский, 1976].

В результате усиления процессов ядерной диссоциации происходит резкое увеличение выхода легких порообразующих и летучих элементов из плюмов-апвеллингов и – как следствие этого – дальнейшее пульсационное расширение Земли. Оно приводит, прежде всего, к уменьшению глубин океанических впадин вследствие тектонического изменения геоида Земли и более мобильному, утонченному их строению. С другой стороны, в этот момент увеличивается объем мирового океана в результате выноса ювенильных вод как остаточного продукта процессов ядерной диссоциации проатомов и химических элементов.

В периоды выхода Солнечной системы из зоны коротации на границе нижней мантии и ядра происходит очень важное явление в недрах Земли, напоминающее эффект «кипящей колбы». Так как процесс «активного кипения» первичного звёздного вещества в ядре Земли закончился более двух млрд. лет назад, то для отрыва плюмов-апвеллингов необходима дополнительная энергия. Такой же эффект мы наблюдаем в медленно кипящей колбе на горелке: чтобы образующиеся пузырьки оторвались от дна колбы, ее необходимо встряхнуть. Для того чтобы плюмы-апвеллинги отделялись от поверхности ядра и достигали континентальной или океанической коры, необходимо периодически, образно говоря, «встряхивать» Землю, что и происходит, когда Солнечная система выходит из зоны коротации и подвергается резкому и мощному воздействию плотного космического потока.

Именно это явление создает впечатление того, что плюмы-апвеллинги определяют геодинамику и цикличность развития континентальной и океанической коры. На самом же деле цикличность определяется периодичностью отрыва плюмов-апвеллингов от поверхности ядра Земли или от ранее образовавшихся массивных плюмов находящихся в мантии в момент выхода Солнечной системы из зоны коротации. В результате этого происходит повышение интенсивности вулканизма с излиянием базальтоидов в сопровождении выбросов больших объемов флюидов [Макаренко, 1997; Ронов, 1990]. Различная стадия и глубина процесса ядерной диссоциации вещества плюмов-апвеллингов, поднявшихся к поверхности континентальной коры, становится причиной отмеченной периодичности эндогенного рудообразования [Добрецов, 1994; Левицкий и др., 1986]. Формируются структурные особенности платформенного магматизма (рис. 4).

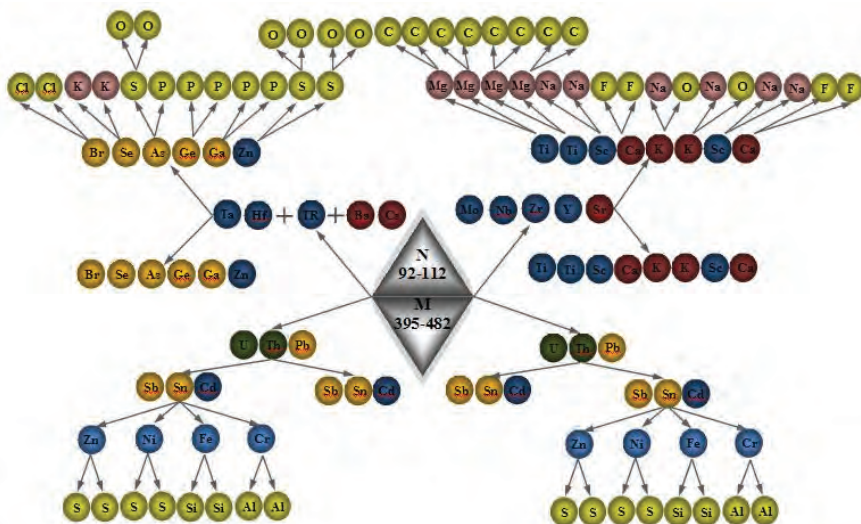


Рис. 3. Схема ядерной диссоциации осциллятора массой 395-482 $n \cdot 10^{-27}$ кг. Пример образования ультращелочных комплексов и карбонатов.

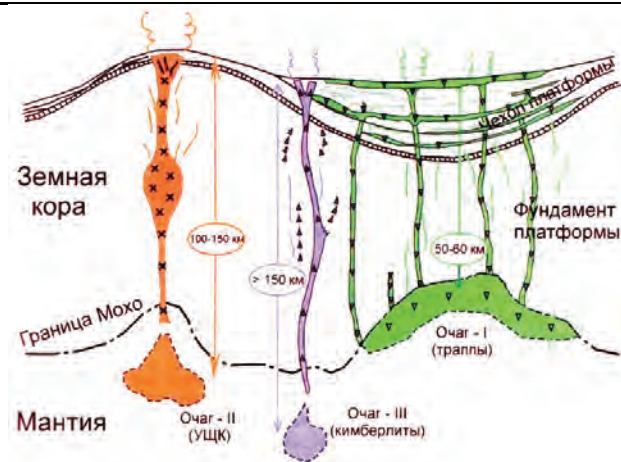


Рис. 4. Структурная схема платформенного магматизма. Оранжевое - массивы ультраосновных щелочных пород и карбонатитов Фиолетовое - кимберлитовые трубки. Зелёное - проявления траппового магматизма [С.В.Белов и др.,2008].

Именно в это время формируются минерагенические провинции. В качестве примера отметим наиболее изученный отрезок в истории земли – фанерозой. Во время выхода и входа Земли из зоны коротации возникли наиболее крупные минерагенические провинции: венд-кембрий - Au; девон-карбон – Pb-Zn; пермь-триас – МПГ; верхняя юра – полиметаллы-редкие и благородные металлы; неоген-четвертичный – Au-Ag; миоцен – Cu-Mo и т.д. Синхронно происходили и другие общепланетарные события: фазы оледенения, тектонические эпохи складчатости, массовые вымирания живых организмов (рис. 5, рис. 6Рис.).

Формирование кимберлитов и алмазообразование

Следует отметить, что все известные модели алмазообразования не решают в полной мере многие поисковые задачи, которые ставит перед нами природа. Накопившийся к настоящему времени фактический материал, полученный на основе современных методов исследования о природе алмазов, трудно объяснить с традиционных позиций мантийного образования алмазов. Например, по морфологическим характеристикам, таким, как окраска, разнообразие изоморфных примесей, меняющийся изотопный состав – алмазы в каждой кимберлитовой трубке имеют выраженные отличия.

Кроме того, трудно объяснить распространенность включений типа «алмаз в алмазе», различие в химическом составе одноименных материалов из включений в алмазе и слагающих алмазоносных породах. Другой важный геологический фактор, который не находит объяснения – это при каких условиях мантийные алмазоносные породы (эклогиты и перидотиты) могут быть доставлены с больших глубин в земную кору. Если принять, что существуют верхне – и нижнемантийные процессы алмазообразования, то те очевидные различия алмазов по минеральным примесям, присутствию свободного кремнезема, низкому содержанию азота и водорода, а также другим особенностям, объяснить с позиций существующих гипотез не представляется возможным.

1. Становление карбонатитов и кимберлитов связано с воздействием мантийных плюмов. Карбонатиты - кимберлиты - траппы - углеводороды образуют единую генетическую последовательность, закономерно протекающих процессов ядерной диссоциации и кластерного радиоактивного распада глубинного вещества (осцилляторов), поступающих с литосферными фумаролами.

2. Всё многообразие и сложные формы образования полезных ископаемых в карбонатах и природное алмазообразование в кимберлитах, определяется в основном физическими свойствами вмещающих горных пород, такими как; плотность, трещиноватость, первичный объём литосферных фумарол, открытостью или закрытостью термодинамической системы.

3. Эмпирические данные о позиции карбонатитов и кимберлитов в гравитационном поле Земли показывают, что образование кимберлитов происходит во вмещающих горных породах, имеющих высокие значения плотности, отвечающие положительным значениям гравитационного поля (рис. 7).

Концепция ядерно-химической эволюции вещества как процесса ядерной диссоциации и кластерный радиоактивный распад тяжелых и сверхтяжелых ядерных осцилляторов [Кривицкий 2016], позволяет нам выдвинуть новую рабочую гипотезу о процессах природного алмазообразования.

Собственно, процесс природного алмазообразования проходит четыре основные стадии.

В результате поступления литосферных фумарол в пределы земной коры происходит формирование флюидизированной жидкой кимберлитовой магмы, насыщенной сверхтяжелыми и тяжелыми атомными ядрами и летучими компонентами как продуктами ядерной диссоциации и кластерного радиоактивного распада глубинных осцилляторов.

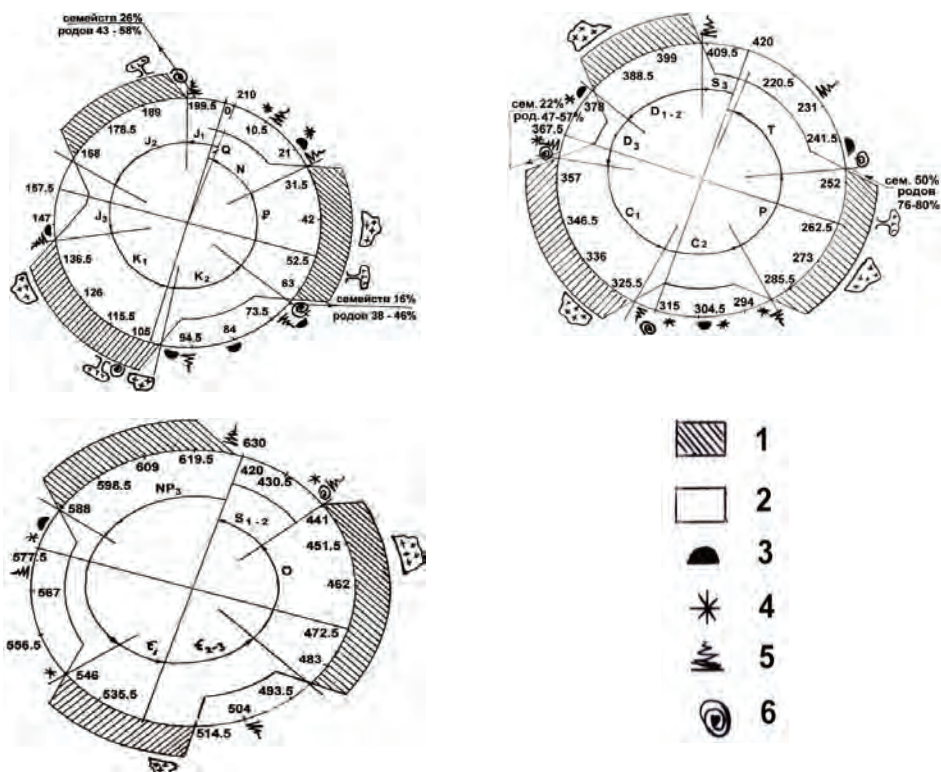


Рис. 5. Диаграммы выхода и входа Солнечной системы из зоны коротации за период фанерозоя. Условные обозначения: 1 – Солнечная система вне зоны коротации, 2 – Солнечная система в зоне коротации, 3 – запасы основных полезных компонентов в карбонатах, 4 – фазы оледенения, 5 – тектонические эпохи фанерозоя, 6 – массовые вымирания живых организмов.

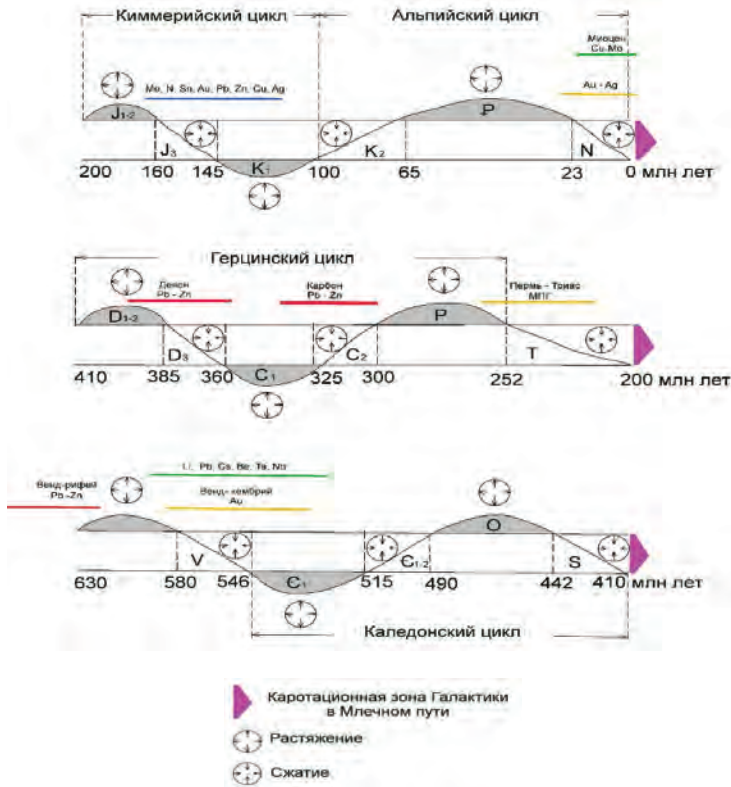


Рис. 6. Влияние коротационной зоны Галактики на минерагенические процессы Земли.

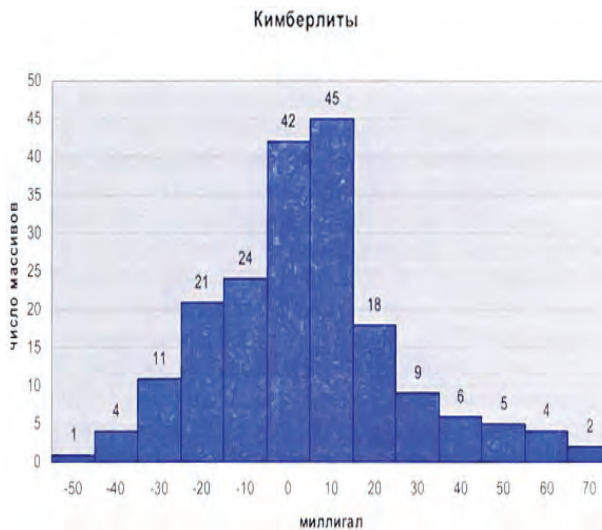


Рис. 7. Позиция кимберлитов в гравитационном поле Земли [Фролов и др. 2008].

Кристаллизация зародышей алмазообразования, как фенокристаллов, происходит непосредственно из тяжелых атомных ядер в результате ядерной диссоциации и кластерного радиоактивного распада осцилляторов, минуя физико-химическую стадию алмазообразования непосредственно в диатремах.

Алмаз кристаллизуется в динамической обстановке при постоянном притоке вещества (осцилляторов и химических элементов) и энергии, которые выделяются в процессе ядерной диссоциации и кластерного радиоактивного распада осцилляторов. Как правило, эти процессы протекают наиболее интенсивно в центральной части диатрем. При этом алмаз кристаллизуется как наиболее ранний минерал (фенокристалл), как конечный продукт ядерной диссоциации тяжелых атомных ядер.

Активный метастабильный рост алмаза на образовавшихся «зародышах» в дальнейшем происходит из продуктов ядерной диссоциации и кластерного радиоактивного распада, таких, как углерод и азот уже по физико-химическим законам в жестких Р.Т. условиях. На этой стадии роста алмаза окончательно формируется облик кристаллов в зависимости от особенностей строения и объема кимберлитовой трубки и плотности вмещающих горных пород.

4. В завершающей стадии становления кимберлитовой трубки в зависимости от первичного объема поступающего флюида, количества кимберлитовых трубок на кимберлитовом поле и концентрации в нем осцилляторов наблюдаются две особенности роста алмаза. При небольших объемах осцилляторов в литосферных фумаролах и низкой плотности вмещающих пород образуется значительное количество мелких алмазов, как бы первичных «зародышей», которые не получили дальнейшего развития из-за недостатка исходного материала, т.е. осцилляторов. Второе: когда объем литосферных фумарол велик, а плотность вмещающих пород максимальна, то после кристаллизации «зародышей» процесс ядерной диссоциации продолжается, что приводит к выделению большого объема летучих. В первую очередь, это углерод и азот, которые участвуют в росте «алмазных ансамблей». В завершающей стадии процесс ядерной диссоциации теряет свой энергетический потенциал и не доходит до самых легких элементов, а останавливается на образовании кислорода, фтора, хлора, серы, что приводит к резкому возрастанию окислительного потенциала и прекращению роста алмаза. А в конечной стадии – даже к его резорбции.

Рассмотрим последовательно каждую стадию природного алмазообразования с позиций выдвигаемой концепции и постараемся ответить на ряд нерешенных до сих пор вопросов.

Процесс образования кимберлитов и природы происхождения алмаза в них начнем с обоснования геотектонической позиции и пространственно-временной привязки всего комплекса горных пород – карбонатиты – кимберлиты – траппы – углеводороды к верхней мантии и земной коре. Основанием такого подхода является, с одной стороны, появление целого ряда фундаментальных работ – обобщений - о минерагении платформенного магматизма, карбонатитах и кимберлитах, проведенное [Фролов, Лапин, Толстов, Зинчук, Белов, Бурмистров 2005] и многими другими. А с другой стороны – выдвинутая гипотеза о развитии Земли из звездного вещества (Кривицкий 2016). Как было показано в последней работе, Земля как планета имеет два основных этапа развития: нуклеарный, продолжительностью 4,0 -2.0 млрд. лет и пульсационного расширения, продолжительностью от 2,0 до 0,0 до современности. Следует отметить, что становление верхней мантии и земной коры происходило именно на нуклеарном этапе развития Земли [Хаин, 2003] в архее. Как было показано [Клиффордом, 1964], а позднее [Харькивым, Зинчуком, Крючковым, 1998] на основе материалов по коренным месторождениям алмаза мира – кимберлиты располагаются в пределах древних консолидированных блоках земной коры – архейских кратонах. Этот твердо установленный эмпирический факт с позиций предлагаемой концепции природного алмазообразования имеет следующее объяснение.

Сформировавшаяся к нижнему протерозою верхняя мантия и земная кора явились тем геологическим пространством, на котором начал свое развитие комплекс горных пород – карбонатиты - кимберлиты – траппы – углеводороды, как результат ядерно-

химической эволюции глубинного вещества планеты. Геотектоническая модель последовательных стадий развития Земли на этапе пульсационного расширения показана на рис. 8.

Каждая выделенная стадия отражает определенный отрезок времени, в который происходили различные геотектонические события, сопровождающиеся строго определенными процессами магматизма минерализации и образования месторождений полезных ископаемых.

Следует напомнить, что на этапе нуклеарного развития Земли сформировавшаяся верхняя мантия и земная кора были сложены в основном коматиит-базальтами, гранито-гнейсами и гранитоидами. В дальнейшей, начиная от нижнего протерозоя, развитие Земли как геотектонического объекта происходило по следующей схеме (сценарию).

В период нижнего протерозоя идет формирование жидкого ядра, которое в дальнейшем, к среднему протерозою, достигает объема первоначальной Земли. На этой стадии ее развития еще не было выраженных плюмо-апвеллинговых потоков. Однако мощные по энергии и объему массы глубинного вещества внедрялись в верхнюю мантию, практически при прямом контакте с верхней мантией. Начался процесс активного континентально-океанического расширения земли и активизации ранее сложившихся платформ, щитов, кратонов, всех тех стабильных корово-мантийных структур, возникших в архее. В это время на земной коре формируются массивы серых гнейсов, плагиогранитов, гранитов рапакиви, гранодиоритов, биотитовых гранитов, мигматитов, кварцевых монцанитов, объем которых затем резко сокращается. Развитие всех указанных комплексов пород объясняется тем, что глубинное вещество, продуцированное жидким ядром и насыщенной ядерными осцилляторами, уперлось в плотную консолидированную верхнюю мантию и земную кору. И процессы ядерной диссоциации и кластерного радиоактивного распада шли практически до конца, до самых легких пороодообразующих элементов и летучих: кислорода, углерода, азота, серы, фосфора, хлора и др. В этот период появляются первые карбонатиты и толеитовые базальты, андезиты и первые кислые вулканы.

Строение Земли на стадии континентально-океанического расширения

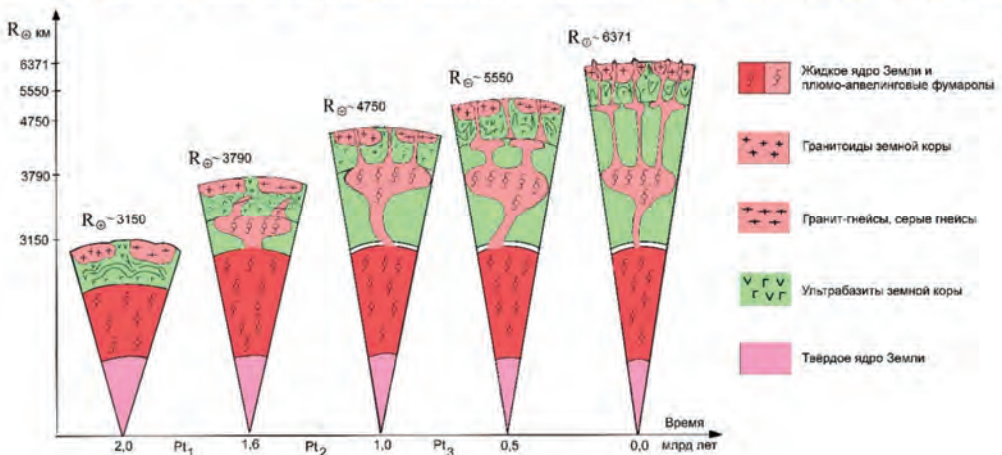


Рис. 8. Стадии развития Земли на этапе континентально-океанического расширения.

На следующей стадии развития Земли весь средний протерозой характеризуется тем, что появляются первые мощные литосферные фумаролы, которые «прошивают» насквозь верхнюю мантию и земную кору. Одновременно с этим глубинные потоки вещества приобретают очертания объемных плюмо-апвеллинговых систем, которые «упираются» своими обширными поверхностями в подошву верхней мантии. Дальнейшее увеличение радиуса планеты приводит к тому, что «прикипевшие» к верхней мантии плюмы поднимаются и перемещаются вместе с различными массивами платформ, что в свою очередь, приводит к отрыву головной части плюма от границы сформировавшегося жидкого ядра Земли, при этом сохраняя энергетическую и вещественную связь с жидким ядром. Указанные динамические процессы, происходившие на этой стадии развития планеты, привели к энергетической разгрузке возникших ранее плюмо-апвеллинговых систем.

В пределах земной коры эти мощные процессы воздействия привели к многочисленным геотектоническим перестройкам и появлению новых формаций магматических пород. Таких как, офиолиты, траппы, андезиты, биотитовые граниты, мигматиты, карбонатиты и многие другие. Появились первые кимберлиты. В этот период суммарные площади кимберлитовых массивов не велики, но они отличаются очень высоким содержанием алмаза в них [Белов, 2008]. С позиции предлагаемой концепции это можно объяснить тем, что действительно количество литосферных фумарол, выносимых к поверхности земной коры, флюидизированную кимберлитовую магму, было не велико, но они по своей энергетике и концентрации в них тяжелых и сверхтяжелых осцилляторов и летучих химических элементов были очень насыщенными. Другой очень важный фактор состоит в том, что они внедрялись в плотные комплексы пород, что приводило к протеканию процессов диссоциации, тяжелых и сверхтяжелых атомных ядер в замкнутом пространстве – это в конечном итоге и определяло количество и качество образовавшегося алмаза.

Верхне-протерозойная стадия развития Земли отличается снижением активности глубинных литосферных фумарол. Это было вызвано тем, что поступившее ранее вещество уже прореагировало (диссоциировало и дезинтегрировалось), при этом частично потеряло связь с основными резервуарами плюмо-апвеллинговых систем. Новые флюидодинамические системы только начали формироваться и набирать силу. Собственно верхний протерозой характеризуется проявлением щелочного магматизма, распространением офиолитов, биотитовых и мусковитовых гранитов, кислых вулканитов, траппов, толеитовых базальтов, карбонатитов и незначительны проявлением кимберлитов.

Заключительная стадия развития Земли – это фанерозой. Главной отличительной чертой фанерозоя является то, что за последние почти шестьсот миллионов лет резко увеличилось количество магматических формаций в земной коре и резко возросло количество и разнообразие месторождений полезных ископаемых, в том числе и алмаза. Причина такой геоактивности вероятнее всего связана с тремя причинами:

Первое: в конце среднего протерозоя основная активность гигантских суперплюмов, которые поднялись к верхней мантии и привели к процессам активного континентально-океанического расширения Земли иссякли. Наступил следующий за этим новый процесс накопления энергии, порообразующих и легких химических элементов в результате постоянно действующих процессов ядерной диссоциации и кластерного радиоактивного распада первичного звездного вещества. Начала меняться динамика рождения собственно литосферных фумарол. Большие объёмные массы плюмо-апвеллинговых систем не могли подниматься всем своим объёмом к верхней мантии, они как бы зависли в мантийном субстрате средней мантии. С другой стороны физическая необходимость энергетической разгрузки плюмо-апвеллинговых систем привела к появлению многочисленных, небольших по размеру и объёму, потоков

вещества по новым каналам и к началу фанерозоя они достигли поверхности верхней мантии и земной коры. Указанные плюмо-апвеллинговые массивы начали продуцировать более мелкие по массе и объёму плюмы, как бы структуры второго порядка- вторичные плюмы!

Второе: столь мощные выбросы глубинного вещества, которыми обладают литосферные фумаролы стали возможными по причине того, что в головных частях астеносферных линз, которые образовывались в подошве верхней мантии, кроме ядерной диссоциации начались и обратные процессы, синтез химических элементов из более лёгких, при том с выделением тепловой энергии. Парадокса в этом нет, так как в различных условиях имеются элементы, которые при слиянии выделяют энергию своих сжатых оболочек.

В зонах доминирования экзотермических реакций происходит расплав стабильного в ядерном отношении вещества. Так, на границе нижней мантии и астенолинзы - возникает первичный расплав, где зарождаются вторичные плюмы. Ввиду естественной диффузии легкие элементы начинают подниматься к верхним слоям Земли. Вследствие пространственной неоднородности этого процесса, т. е. по статистическим причинам, начинается образование куполов, в которых, в результате критической концентрации легких элементов, находящихся в условиях повышенного давления, начинаются процессы ядерного синтеза, создающие ядерно-активную головку будущего вторичного плюма. Таким образом, подпитываясь на протяжении миллионов лет теплотой ядерного происхождения, плюм достигает земной коры, в которой реакции самоподдерживаются уже не из-за повышенного давления, а вследствие пористости среды. Накопленная при этом процессе дополнительная энергия и легкие летучие химические элементы захватывают тяжелые ядерные осцилляторы и переносят их на поверхность земной коры в составе газово-жидких литосферных фумарол, которые в дальнейшем формируют все известные комплексы пород и многочисленные месторождения полезных ископаемых.

Третья причина столь активного развития земной коры в фанерозое это возникновение активных, долгоживущих геологических «спаев». Особенность этого явления заключается в том, что плюмы своими проникающими потоками литосферных фумарол прикипели к верней мантии и тем самым слились воедино с платформами и другими стабильными структурами, не порывая своей связи с материнскими глубинными очагами. В дальнейшем «прикипевшие» к основанию верхней мантии головные части плюма перемещаются вместе с платформами, образуя, длительно взаимодействующие геотектонические системы, подпитываемые энергией и веществом глубинных плюмо-апвеллинговых резервуаров. Именно эти системы и порождают на поверхности земной коры генетически единую последовательность породообразования; карбонатиты-кимберлиты-траппы-углеводороды.

Как показали многочисленные исследования кимберлитовые трубки взрыва происходят в следующей последовательности: туфобрекчии→эруптивная брекчия→массивные разновидности кимберлитов или пикритов. Туфы и туфобрекчии свидетельствуют о том, что трубки взрыва имеют выход на земную поверхность. Именно эти первичные продукты извержения и создают условия замкнутого пространства, в котором при дальнейших генерациях глубинных фумарол происходит раскристаллизация массивных ядерных осцилляторов (рис. 9).

Отметим главные условия для протекания процессов ядерной диссоциации и кластерного радиоактивного распада глубинного вещества в диатремах:

1. Фазовое состояние вещества должно быть жидкое или газообразное – это главные условия для протекания процессов ядерной диссоциации при гиперчастотном состоянии вещества;

2. Вмещающие горные породы должны обладать максимальной плотностью и минимальной трещиноватостью с отсутствием «сквозных» разломов. Все это необходимо для того чтобы электроны, нуклоны и осцилляторы не могли покинуть зону протекания реакций - центральную часть диатремы
3. В возникшем замкнутом пространстве диатремы должно соблюдаться равенство объёмной плотности энергетических генераторов (электроны, нуклоны, нейтрино) и осцилляторов (тяжелых и сверхтяжелых атомных ядер) которые выполняют роль «горючего».
4. На время протекания указанных реакций в диатреме, её центральной (головной) части вещество должно находиться в резонансном состоянии, при котором в процессе взаимодействия генераторов и осцилляторов, парциальные частоты должны быть одной и той же частоты – это следует из закона сохранения энергии. В конечном итоге, указанные условия, определяют дискретность природного алмазообразования.

Как показали исследования [Гаранин, Кузнецов, 2006] процесс образования алмаза носит дискретный характер. Во многих случаях рост алмаза в трубках, Мир, Спутник, им. XXIII Съезда КПСС и многих других, что характерно для верхне-мантийного алмаза, начинается с алмазного зародыша, обладающего полицентрическим внутренним строением. Возникшие зародыши отделены от послойно-октаэдрической матрицы кристалла поверхностью раздела. Дискретность образования изученных кристаллов, отличается различным составом минеральных включений внутри кристалла-зародыша и на периферийной зоне матрицы. Наблюдаемая дискретность в росте кристалла алмаза, есть суть отражения дискретности процессов ядерной диссоциации и кластерного радиоактивного распада глубинного вещества тяжелых и сверхтяжелых атомных ядер, привнесенных литосферными фумаролами.

За последние годы, с развитием современных методов исследования алмаза, важнейшими источниками информации об их генезисе служат минеральные образования, которые образуются одновременно с алмазом, но в то же время, являются для них, как бы, инородными включениями. Эта парадоксальная, на первый взгляд ситуация, при дальнейшем рассмотрении, показывает, что это единый ядерно-химический процесс алмазообразования.

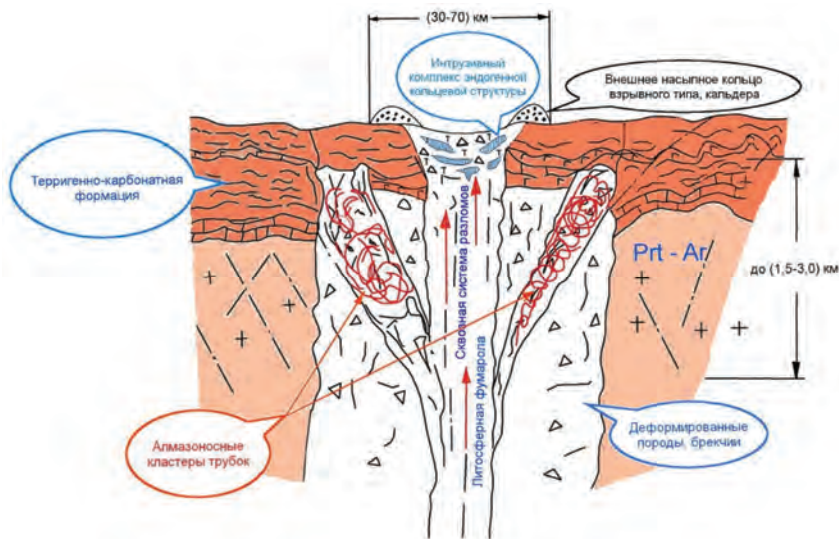


Рис. 9. Фанерозойские стволовые системы литосферных фумарол и кластеры алмазных трубок.

Напомним, что согласно физической классификации алмазы подразделяются на два типа; I тип – примесные, II тип беспримесные. В основе выделения типов алмазов было положено содержание азота; I – группа (азотная), II – группа (безазотная), кроме этого учитывается очерёдность кристаллизации наличие резко различающихся по свойствам алмазного вещества в одном кристалле.

Отметим главные особенности по составу включений и строению алмаза в выделенных типах, которые убедительно указывают на природу алмазообразования, как процесс ядерной диссоциации и кластерного радиоактивного распада тяжелых ядерных осцилляторов. Например, алмаз II типа всегда приурочен к центральной части кристаллов и обычно характеризуется кубической или кубооктаэдрической огранкой. К центральной части кристалла алмаза тяготеют включения самородного железа, вюстита, и др. минералов восстановительных условий. Указанный алмаз имеет структурные (изоморфные) примеси, такие как N_2 , B, He, Ne, Ar, Xe. Алмаз указанного типа имеет повышенное содержание H_2 и ^4He . Кроме этого, в нем развиты сингенетические включения оксидных и сульфидных твердых растворов типа: Zr - Fe - Ti - Si - Al; Fe - Ni - Co - Cu, которые присутствуют в виде пирротина, халькопирита, пентландита. Появление указанных примесей еще раз показывает нам, что процесс алмазообразования это процесс ядерной диссоциации тяжелых ядерных осцилляторов. Характерной чертой, данных сингенетических включений, является полное, отсутствие ^{64}Zn причина, одна – цинк неустойчивая ядерная молекула и активно диссоциирует на две серы, что приводит к образованию сульфидов (рис. 10, рис. 11).

II тип алмаза всегда занимает центральную часть кристалла потому что – это зародыш кристаллообразования который образуется в результате ядерной диссоциации тяжелого осциллятора. Происходит процесс «схлопывания» образовавшегося углерода, минуя газовую физико-химическую фазу из первичного осциллятора (Рис.5,6), при этом кристаллы занимают меньшую по объёму долю, по сравнению с внешними зонами алмаза I типа. Алмазы типа II имеют значительную распространенность, а некоторые из кристаллов обладают полупроводниковыми свойствами, которые косвенно указывают на особые условия кристаллизации.

Очень важными фактами в пользу предлагаемой концепции говорят примеси химических элементов, структурно встроенные в алмаз второго типа. Прежде всего это высокое содержание ^4He и H_2 . Высокое содержание гелия и водорода – это прямое указание на протекание кластерного радиоактивного распада осциллятора. Крайне низкое содержание азота, говорит о том, что в процессе ядерной диссоциации участвуют ядерные молекулы, не содержащие азотный кластер. Предлагаемая концепция объясняет и присутствие бора в алмазе второго типа – это ядерная диссоциация $^{40}Ar \rightarrow 2\ ^{20}Ne \rightarrow 4\ ^{10}B$ (рис. 7)

Минеральные и элементные примеси в алмазах I типа не менее убедительны в том, что процессы алмазообразования – это ядерная диссоциация тяжелых и сверхтяжелых атомных ядер. Например, работа [Буланова и др., 1993], в которой были сделаны принципиально важные выводы. Показана зависимость содержания газов от наличия минеральных включений и их типов. По данным этой работы участки кристаллов алмаза, содержащие первичные минеральные включения обогащены газовыми примесями, по сравнению с подобными участками кристаллов без включений. Приведенный факт четко указывает на процесс ядерной диссоциации. Хорошо видна последовательность процесса; тяжелые атомные ядра (осцилляторы) – легкие атомные ядра (минералы) – ядерные кластеры (газы).

Приведем еще примеры зависимости содержания алмазов от состава вмещающих кимберлитов, минеральных включений и критерии их алмазоносности. На протяжении полувека в ряде исследований показана корреляция алмазоносности кимберлитов с особенностями их химического состава. Например, [Милашев, 1965] показал, что для

КОНЦЕПЦИЯ КЛАСТЕРНОЙ ЭВОЛЮЦИОННОЙ МИНЕРАГЕНИИ И ФОРМИРОВАНИЕ КИМБЕРЛИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

высокопродуктивных кимберлитов характерно низкое содержание титана, щелочей и глинозема. Низкое содержание титана, вызвано тем, что атомные ядра титана, одни из главных участников процесса ядерной диссоциации при процессе алмазообразования. Другой пример [Благулькина, 1969] показала, что наиболее высокоалмазные кимберлиты содержат повышенное количество магния и хрома, [Василенко и др. 1997] показал, что низкие содержания титана коррелируются с высокой алмазонасностью. Титан «выгорает», диссоциирует на два магния, который в свою очередь диссоциирует на четыре углерода (рис. 12).

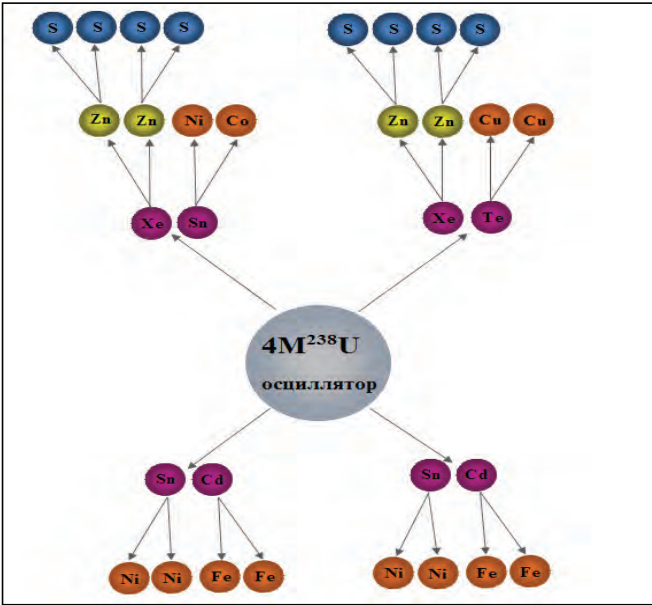


Рис. 10. Схема ядерной диссоциации осцилятора $4M^{238}U$. Минерал пентландит.

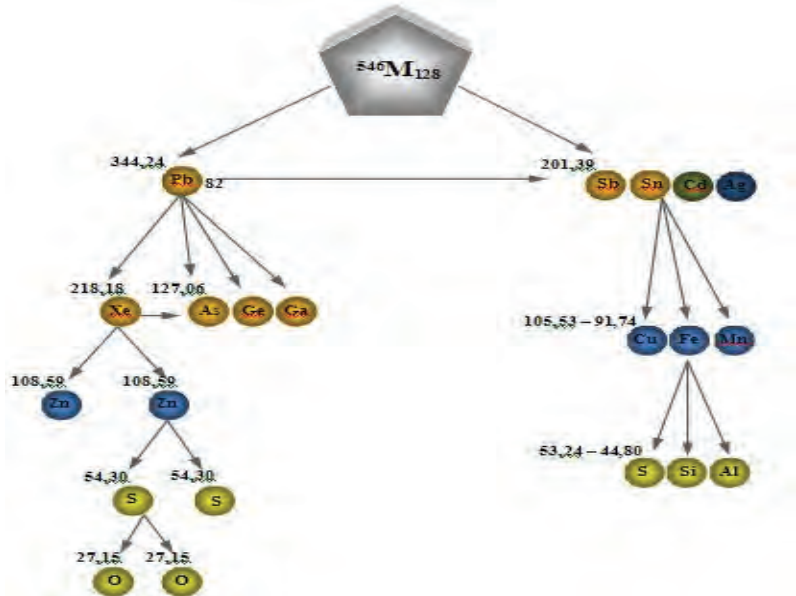


Рис. 11. Схема распада сверхтяжелого ядра $^{546}M_{128}$ и формирование свинцово-цинкового гидротермального оруденения.

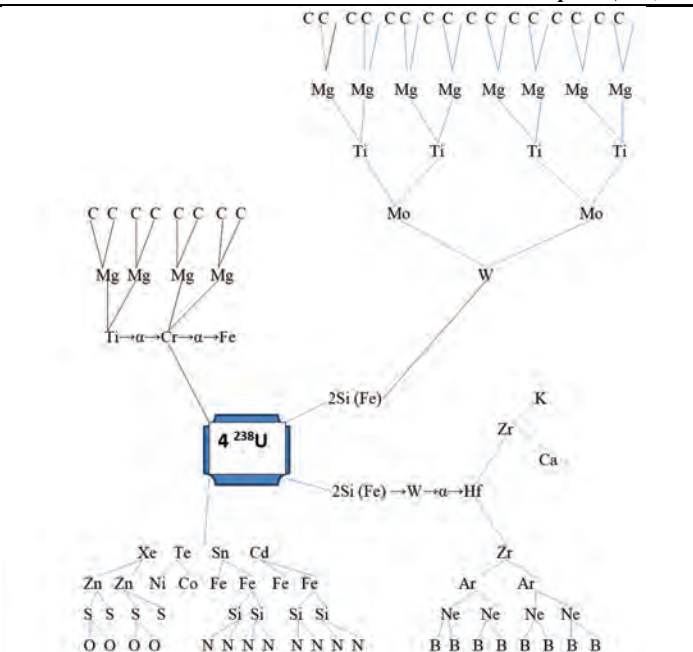


Рис. 12. Схема ядерной диссоциации осциллятора массой равной $4M^{238}\text{U}$ при образовании алмаза, структурных и сингенетических включений в кристалле.

Рассмотрим ещё ряд примеров взаимоотношения химических элементов в кимберлитах и минеральных включений из работы [Шкодзинского, 2009], которые он провел на основе работ [Флоров и др. 2005, Аргунов 2005, 2006]. Было показано, что содержание алмаза в кимберлитах резко возрастает с увеличением хрома в гранатах, которые являются минералами примесей алмаза. Показано также, что содержание алмаза в среднем возрастает с увеличением количества углекислоты. Эту положительную корреляцию алмазности кимберлитов с содержанием углекислоты также отмечал [Ваганов, 2000]. Ещё одно важное эмпирическое наблюдение – средний вес кристаллов алмаза уменьшается с падением титанистости кимберлитов. Например, при содержании TiO_2 от 4-6% вес кристаллов доходит до 84 мг, а при содержании TiO_2 от 0-2% вес кристаллов не более 12 мг. Как показал [Шкотзинский, 2009] наиболее четким критерием алмазности кимберлитов является максимальное содержание хрома во включениях в алмазе и содержание CaO и TiO_2 в кимберлитах.

Но, пожалуй, самым убедительным эмпирическим фактом, который показывает, что алмаз образуется в процессе ядерной диссоциации – это то, что количество алмазов кубической или кубооктаэдрической огранки, то есть алмазов II типа в кимберлитах возрастает с увеличением в них магния. Этот факт показывает, не только то, что процесс алмазообразования происходит в результате ядерной диссоциации магния, но и то, что это ядерно-химический процесс, который происходит до физико-химической стадии роста кристалла алмаза I типа. Другими словами, происходит кристаллизация зародышей алмазообразования непосредственно из тяжелых ядерных осцилляторов, привнесенных глубинными фумаролами. Все приведенные эмпирические наблюдения показывают, что минералы и химические элементы в алмазах не являются примесями – это реликты – указывающие на путь образования, роста алмаза и процессы элементообразования в нём. Обратите внимание, во всех наиболее продуктивных кимберлитовых трубках, так или иначе реакции ядерной диссоциации, в конечном итоге идут через хром, титан и магний.

Магний является главной ядерной молекулой, диссоциация которой приводит к процессу алмазообразования (рис. 7).

Особенности минерагении кратонов

Установлено, что в пределах всех кратонов земли в тесном пространственно-временном симбиозе развиты кимберлиты, карбонатиты и траппы (рис. 13). В ассоциации с этой тройцей постоянно присутствует благороднометалльная минерализация. Образование всей этой ассоциации протекало в широком временном интервале. Практически от раннего докембрия до неогена. Различие в конкретной геологической ситуации связано с разным эрозийным срезом, который мы имеем в конкретных структурах, т.е. доступны для изучения только отдельные вертикальные фрагменты единой постоянно функционирующей системы. Наиболее глубинные части системы доступны на Каапваальском кратоне, верхние части – Сибирском и промежуточные на Канадском щите.

Анализ большого объема данных об отечественных и зарубежных исследованиях по изучению минерального потенциала кратонов позволил выявить много элементов подобия в их строении и металлогении. В частности в (70-80) гг. прошлого века ряд исследователей Сибирского кратона сравнивали его с Капваальским в ЮАР [Тимофеев, 1965; Трушков и др., 1975]. Они первыми указали на элементы структурно-металлогенического сходства ряда геологических структур восточной части Сибирской платформы с аналогичными структурами золоторудных полей Витватерсранда, заключив из этого, что имеется большая вероятность наличия в Срединной Якутии золотоносности витватерсрандского типа. Да и само обнаружение якутских алмазов явилось результатом подобного сопоставления.

Оба кратона сложены архейскими, протерозойскими и палеозойско-мезозойскими геологическими формациями. На западном и восточном флангах Сибирского кратона по геофизическим данным выделяют две глобальные структуры - палеоплумы: Сибирский на западе и Верхоянский на востоке. Между ними в фанерозое формировались Алданская коро-мантийная область деструкции литосферы, Верхоянская верхнемантийная астенотинза, а также Ленский и Якутский литосферные корни. Эволюция Верхоянского палеоплума на восточной окраине Сибирского кратона обусловила развитие рифтогенных структур и последующий их переход в осадочный бассейн.

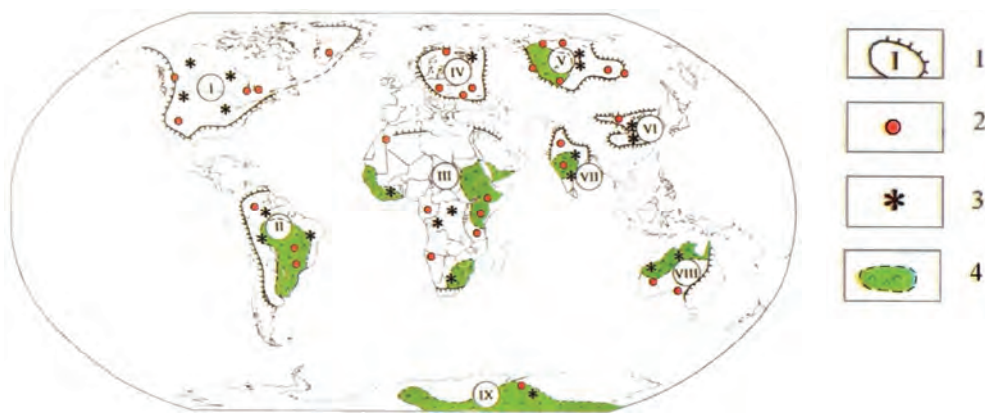


Рис. 13. Провинции кимберлитов, карбонатитов и траппов. (Белов и др., 2008).

1 - провинции (древние платформы): I - Северо-Американская, II - Южно-Американская, III - Африканская, IV - Восточно-Европейская, V - Сибирская, VI - Китайская, VII - Индийская, VIII - Австралийская, IX - Антарктическая; 2 - 4 - субпровинции, районы и поля: 2 - карбонатитов, 3 - кимберлитов, 4 – траппов.

Уникальность минерации Сибирского кратона заключается в закономерностях размещения крупных месторождений в центральной части Якутской алмазоносной и Алдано-Становой и Верхояно-Черской золотоносных провинциях, приуроченных к юго-восточному и восточному флангам кратона. Анализ элементов литосферы в этом регионе показывает, что в контурах Ленского литосферного корня расположена Якутская алмазоносная провинция, в контурах Верхоянской верхнемантийной астенотинзы – Верхояно-Черская золотоносная провинция, а в контурах Алданской коромантийной области деструкции литосферы – Алдано-Становая золотоносная провинция (рис. 14-17). Таким образом, намечается определенная роль литосферных элементов в размещении месторождений золота и алмаза в пределах Сибирского кратона [Стогний, Стогний, 2008].

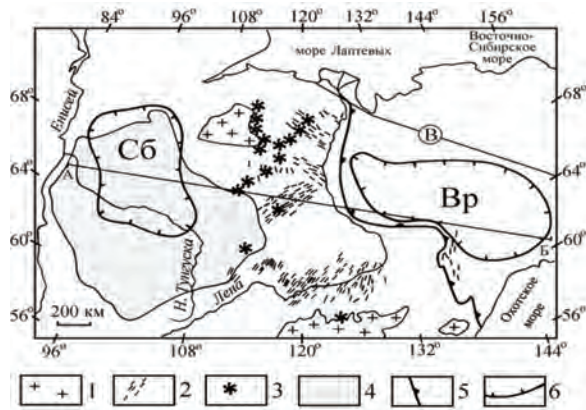


Рис. 14. Схема реконструкции Верхоянского и Сибирского палеоплюмов [Стогний Г.А., Стогний В.В., 2008]. 1 – выходы раннедокембрийских пород кристаллического фундамента Сибирской платформы; 2 – среднепалеозойские дайки; 3 – поля кимберлитов; 4 – тунгусская трапповая провинция; 5 – восточная граница Сибирской платформы; 6 – контуры палеоплюмов (Вр – Верхоянский, Сб – Сибирский). В – Восточновысокий разлом. АБ – линия геолого-геофизического разреза.



Рис. 15. Принципиальная геолого-геофизическая модель формирования Ленского литосферного корня по разрезу верхней мантии в районе трубки Мир и кимберлитового магматизма Якутской провинции [по Стогний Г.А., Стогний В.В., 2008]. 1–2 – кристаллический фундамент: 1 – Ленского геоблока, 2 – Тунгусского и Верхоянского геоблоков; 3 – неизменная верхняя мантия; 4 – алмазосодержащий слой верхней мантии; 5 – термальный пограничный слой; 6 – термически активная и флюидонасыщенная верхняя мантия (палеоплюм); 7 – астенотинза верхней мантии. Пунктир – фазовые переходы шпинель-гранат (шп-грн) и графит-алмаз (грф-алм). Цифрами на разрезе обозначены плотности в г/см³. Стрелки показывают направления термического и изобарического воздействия плюмов.

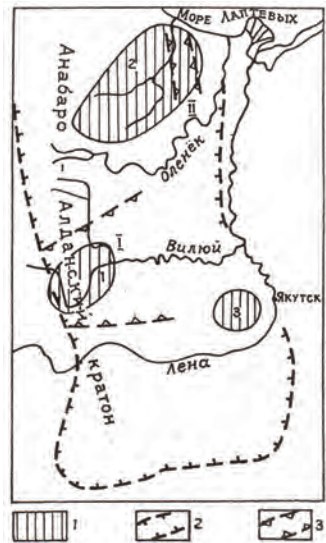


Рис. 16. Размещение ореолов рассеяния самородного золота с попутной платиноидной минерализацией в Сибирском кратоне. 1 – ореолы рассеяния с самородным золотом: 1 – Сунтарский, 2 – Анабаро-Уджинский, 3 – Якутский; 2 – примерные границы Анабаро-Алданского кратона; 3 – границы рифтов: I – Вилуйского, II – Уджинского.

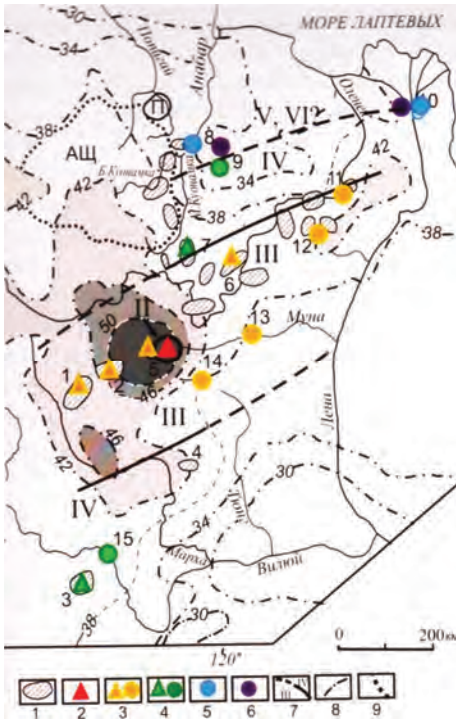


Рис. 17. Зональное размещение главных популяций алмаза и мощность земной коры Якутии. 1-кимберлитовые поля; 2-типы популяций в трубках (треугольники) и в россыпях (кружки): 3- ; 4- ; 5- ; 6- ; 7-границы популяций; 8- изопахиты земной коры; 9- контур Анабарского щита. П – Попигаевская структура. Кимберлитовые поля-1-15. По [Хачатрян, 2016].

Каапваальский и Сибирский кратоны

Южноафриканские алмазные рудники, как и в середине XX века, дают нам огромный фактический материал, позволяющий пересмотреть устоявшиеся представления, и, с позиции новых теоретических концепций, оценить потенциал российских алмазоносных и золотоносных провинций.

Установлена тесная геотектоническая ассоциация золоторудных и алмазных месторождений. Наряду с другими типами рудоносных формаций они являются продуктами развития литосферных фумарол при формировании кратонов. Нами рассмотрены две контрастные геотектонические структуры нашей планеты: Сибирский и Каапваальские кратоны. Архейские зеленокаменные пояса Каапваальского кратона вмещают основную массу золоторудных месторождений. Большая часть золота добыта из Барбертонского пояса. Один из самых ранних Витватерсрандский бассейн, расположенный внутри кратона, возник 2,8 млрд лет назад. Из него более чем за 100 лет было извлечено треть когда-либо добытого золота нашей планеты. Алмазоносные кимберлиты встречаются во всех архейских ядрах Африки. Самые крупные в кратонах Каапвааль и Зимбабве. Их возраст варьируется от архея до эоцена.

Поднятие и эрозия внутреннего плато на юге Африки привело к срезанию более чем на 1 км слоя пород кратона. Высвобожденные древние алмазы хранились в осадках старых террас, возраст которых от современных до 18 миллионов лет. Алмазы были сконцентрированы также в отложениях палеопляжей на ЮЗ побережье Африки и в осадках африканского континентального шельфа. Россыпные алмазы приурочены и к речным системам кратонов Конго, Анголы и Кенема-Ман.

В структуре Каапваальского кратона существенную роль играли глубинные разломы СЗ и СВ простирания (рис. 18). К их пересечениям приурочены наиболее крупные кимберлитовые трубки. Они образуют кластерные системы. Кластер объединяет 2-6 разновозрастных трубок разного масштаба. Среди них обычно одна, но встречаются и две, относящиеся к категории стволовых. Они связаны проницаемыми каналами с глубинными литосферными фумаролами и характеризуются:

- большой протяженностью на глубину;
- наличием нескольких фаз образования интрузивных кимберлитов и устойчивой повышенной алмазоносностью на всем протяжении.

Остальные трубки кластера алмазоносны только в головной части в узком вертикальном интервале и значительно уступают стволовым по масштабам алмазоносности. Эрозионными процессами неоген-четвертичного периода вскрыты наиболее продуктивные центральные сегменты стволовых кимберлитовых систем.

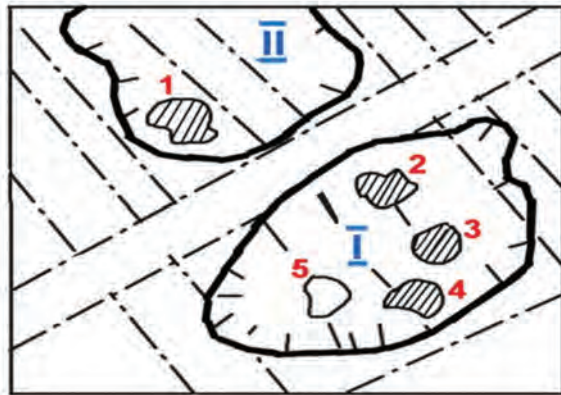


Рис. 18. Схема расположения уникальных кимберлитовых трубок кратонов Каапвааль(I) и Касаи(II): 1 – Катока, 2 – Орапа, 3 – Венеция, 4 – Кулинан, 5 – Джванен.



Рис. 19. Сибирский крон. Ленский литосферный корень (гравитационный максимум).



Рис. 20. Схематический разрез Якутской алмазной провинции.

В качестве примеров к категории стволовых можно отнести на Каапваальском кратоне кимберлитовые трубки: Орапа, Венеция, Кулинан и Джванен. Изучение закономерностей размещения трубчатых структур показало, что условия их локализации определяются: либо элементами вулканотектоники либо разломными зонами региональных палеотектонических полей напряжения. Большинство исследователей считают структурный (разломный) контроль, если не главным, то одним из наиболее значимых в размещении трубок взрыва на древних платформах. Состояние структуры разломной зоны является одним из главных факторов, определяющих структурные типы месторождений, локализующихся в её пределах.

Следует отметить, что действительно кимберлитовые трубки и месторождения алмаза Якутской алмазоносной провинции тяготеют к разломным зонам, но практически никогда не располагаются на осях разломов (рис. 19-21). Этот факт свидетельствует о том, что литосферные фумаролы, которые двигаются по основным глубинным разломам, не перекрытым осадочным чехлом, или трапповым потоком не образуют диатрем и трубок взрыва.

Алмазоносные диатремы возникают в периферических ответвлениях на площадях, занятых разломными зонами, на границах между разломными зонами и блоками, а иногда и в самих блоках (рис. 21). Это своего рода диатремы зальбанда – раздробленность разломных зон, не вышедших на поверхность земной коры. И в зависимости от трещиноватости зоны, объёма фумаролы мы имеем две главные разновидности трубок: 1. В одних процесс ядерного и кластерного радиоактивного распада заканчивается на железе; и 2. Если плотность вмещающих горных пород высокая, ядерное деление идет до углерода и азота. В этих условиях образуются алмазы.



Рис. 21. Схема зонно-блоковой структуры Алахит-Марфинского кимберлитового поля [К.Ж.Семинский, Ж.В.Семинский, 2016]. 1-разломы 1(а), 2 (б) и 3(в) рангов (пунктир – предполагаемые); 2 – площади, занятые разломными зонами (а) и блоками (б); 3- кимберлитовые трубки (а) и месторождения (б).

Взрывные кольцевые структуры, образованные литосферными фумаролами

В мировой литературе широко используют термин «импактогенез», описывая крупные кольцевые геологические структуры («астроблемы»), образованные падением на Землю крупных метеоритов. Среди исследователей этих структур четко выделяется две группы. Первая, предложившая собственно и терминологию – «импактогенез» и («астроблемы»), энергично развивает космогенно-геологические представления, а вторая, более комплексно изучившая данные структуры, считает их эндогенными образованиями (Масайтис, 1989; Маракушев, 1996; Маракушев, Богатырев, Феногенов, Панях, 1993).

К наиболее ярким фундаментальным исследователям импактогенеза относится выдающийся петролог А.А. Маракушев (1996). Согласно его представлениям, наиболее крупные кольцевые структуры имеют эндогенное происхождение. Выделяются три типа встреченных на земле кольцевых структур. К первому и второму типам отнесены наиболее вероятные кометные образования. Крупные структуры третьего типа сформировались в результате серии эндогенных флюидных взрывов в приповерхностных условиях. Они развиты в обрамлении региональных платформенных поднятий (срединных массивов, щитов, антеклиз). Эндогенный импактогенез характерен для геодинамических и металлогенических процессов периодов выхода земли из зоны коротации галактической геохронологии (рис. 5-6). Именно в это время в условиях сжатия формируются планетарные и региональные геотектонические пояса, возникают грандиозные складчатые сооружения, активизируются денудационные процессы, приводящие к образованию широко развитых на нашей планете черносланцевых и

КОНЦЕПЦИЯ КЛАСТЕРНОЙ ЭВОЛЮЦИОННОЙ МИНЕРАГЕНИИ И ФОРМИРОВАНИЕ КИМБЕРЛИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

олигомиктовых, конгломератсодержащих праформаций. С ними ассоциируют уникальные минеральные образования типа минерала куларита (рис.22). В эти периоды очередной импульс развития получают металлогенические провинции, рудные районы, зоны, поля и месторождения. Возникают аномальные, характерные для конкретных геотектоногенов геохимические и петрологические эндогенные и экзогенные комплексы и формации. Именно в эти периоды литосферные фумаролы прорывают панцирь земной коры и образуют грандиозные эндогенные кольцевые взрывные структуры.

В качестве примера рассмотрим **Попигайскую алмазоносную кольцевую структуру** (рис. 23- 25). В пределах кимберлитовых провинций формируется две группы алмазосодержащих трубок взрыва: кластеры умеренно минерализованных структур и высоко рентабельные глубинные стволы трубки. Оба типа связаны с системами литосферных фумарол, соединяющихся каналами с первичными или вторичными плюмами. В зависимости от масштабов энергетического потенциала фумаролы либо завершают свое развитие образованием кластеров трубок – рядовых и стволых, либо взламывают литологическую покрывку (земную кору) и формируют крупные кольцевые поверхностные и приповерхностные эндогенно-экзогенные структуры.

Согласно анализу материалов, проведенному А.А. Маракушевым, кольцевая котловина диаметром более 100 км. выполнена аллогенными брекчиями гранито-гнейсов и стекловатых пород (тагамитов и зювитов). По реликтовым образованиям реконструировано первичное центральное поднятие и периферийная часть кальдеры, уничтоженные мощным взрывом.

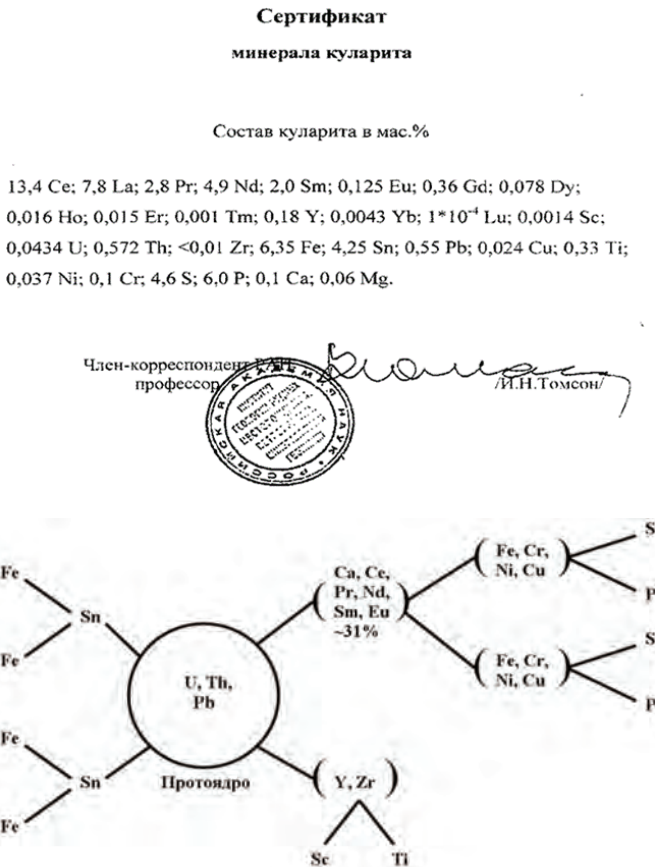


Рис. 22. Состав и модель образования редкоземельного минерала куларита.

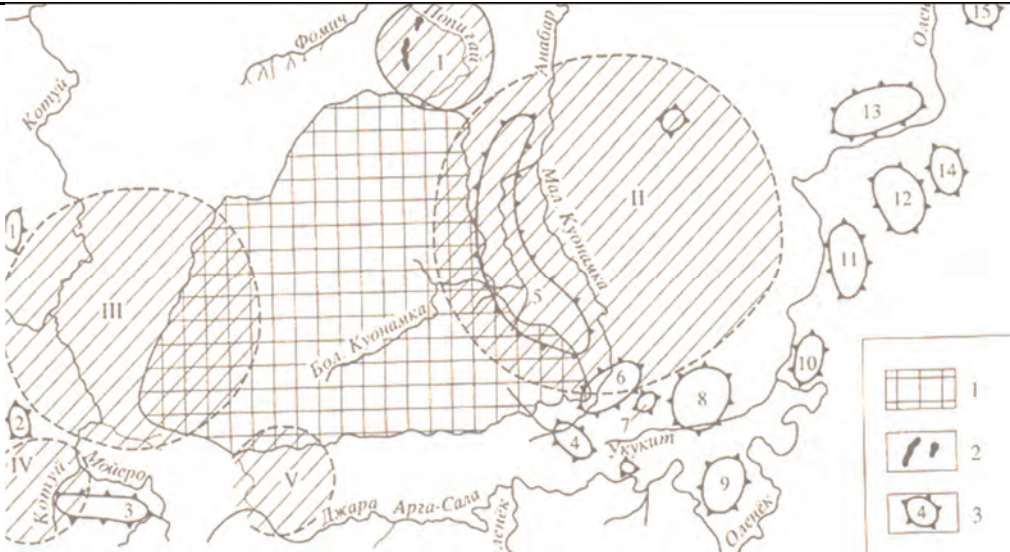


Рис. 23. Геологическая позиция Попигайской алмазоносной кольцевой структуры (I, диаметр 100км) и глубинных взрывных структур: Котуйканской (II), Анабарской (III), Эссейской (IV), Дзарайской (V), выявленных при дешифрировании космических снимков и подтвержденных геофизически (Розен и др., 1986). Структуры приурочены к обрамлению Анабарского щита, сложенного архейскими гранито-гнейсами (1), образующими также кольцевое поднятие в Попигайской структуре (2); 3 – поля кимберлитовых трубок: 1-Далбихинское, 2-Тухоланское, 3-Харамайское, 4-Куранахское, 5-Куонамское, 6-Лучаканское, 7-Западно-Укукитское, 8-Восточно-Укукитское, 9-Чомурдахское, 10-Огоньер-Уряхское, 11-Мерчименское, 12-Молодинское, 13-Куойское, 14-Толуопское, 15-Харбосуонское.



Рис. 24. Схема строения Попигайской кольцевой структуры (Вишневский, Поспелова, 1988) с дополнениями А.А.Маракушева. 1-юрско-меловые породы платформенного чехла; 2-гранито-гнейсовыепороды; 3-импактиты разных типов; 4-система кольцевых валов, прослеженных (а) и предполагаемых(б); 5-обнажения зювитов и зювитов с мегабрекчиями пород чехла. I – кальдера проседания и брекчирования пород чехла, частично перекрытая аллогенными брекчиями гранито-гнейсовых пород и зювитами; II – гранито-гнейсовый кольцевой вал (реликт центрального поднятия); III – центральная взрывная котловина, заполненная аллогенными брекчиями.

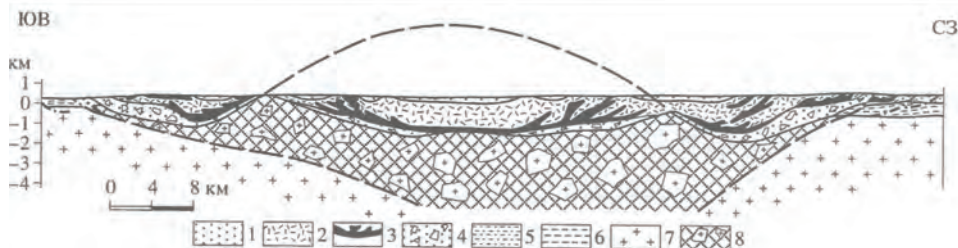


Рис. 25. Геологический разрез Попигаийской структуры по В.Л.Масайтису (1980) с дополнениями Маракушева (1993). 1-коптокластиты; 2-зювиты; 3-тагамиты; 4- брекчии пород чехла и аллогенные брекчии её кристаллического основания; 5, 6- фанерозойские (5) и протерозойские (6) породы чехла платформы; 7- гранито-гнейсы кристаллического основания; 8- их аутигенные брекчии. Штриховая линия – предполагаемый гранито-гнейсовый купол, разрушенный приповерхностным флюидным взрывом с образованием на его месте центральной котловины (сохранилась лишь часть его основания в виде кольцевого гранито-гнейсового поднятия).

Заключение

1. Новая кластерная минерагения базируется на идее развития Земли из первичного звездного вещества, которое сохранилось в ядрах планет. Последовательная его деструкция, как следствие распада тяжёлой ядерной материи в протопланетах приводит к его фрагментации вплоть до появления сверхтяжёлых элементов с дальнейшей их ядерной диссоциацией. В результате возникает протомagma, которая в форме плюмо-апвелинговых потоков последовательно формирует мантию, астеносферу и земную кору. Этот процесс поддерживает протекание химических реакций, в результате которых образуется всё многообразие химических элементов. Процессы ядерной диссоциации приводят к выделению энергии и разуплотнению вещества, и как следствие, к росту объема Земли, ее геотектонической активности, магматическим потокам и образованию горных пород и месторождений полезных ископаемых, а также возникновению гидросферы и атмосферы.

2. Процесс природного алмазообразования проходит в четыре основные стадии.

1. В результате поступления литосферных фумарол в пределы земной коры происходит формирование флюидизированной жидкой кимберлитовой магмы, насыщенной сверхтяжелыми и тяжелыми атомными ядрами и летучими компонентами, как продуктами ядерной диссоциации и кластерного радиоактивного распада глубинных осцилляторов; 2. Кристаллизация зародышей алмазообразования происходит из тяжелых атомных ядер в результате ядерной диссоциации и кластерного радиоактивного распада осцилляторов, минуя физико-химическую стадию в диатремах. Алмаз кристаллизуется в обстановке постоянного притока вещества в центральной части диатрема, как наиболее ранний минерал, конечный продукт ядерной диссоциации тяжелых атомных ядер. 3. Активный метастабильный рост алмаза на «зародышах» происходит из продуктов ядерной диссоциации и кластерного радиоактивного распада, таких, как углерод и азот уже по физико-химическим законам в жестких Р.Т. условиях. 4. В завершающей стадии становления кимберлитовой трубки наблюдаются две особенности роста алмаза. Первая. При небольших объемах осцилляторов в литосферных фумаролах и низкой плотности вмещающих пород образуется значительное количество мелких алмазов. Вторая, когда процесс ядерной диссоциации теряет свой энергетический потенциал и не доходит до самых легких элементов, а останавливается на образовании кислорода, фтора, хлора, серы, что приводит к резкому возрастанию окислительного потенциала и прекращению роста алмаза. А в конечной стадии – даже к его резорбции.

3. В пределах кимберлитовых провинций формируется две группы алмазосодержащих трубок взрыва: кластеры умеренно минерализованных структур и высоко рентабельные глубинные стволовые трубки. Оба типа связаны с системами литосферных фумарол, соединяющихся каналами с первичными или вторичными плюмами. В зависимости от масштабов энергетического потенциала фумаролы либо завершают свое развитие образованием кластеров трубок – рядовых и стволовых, либо взламывают литологическую покрывку (земную кору) и формируют крупные кольцевые поверхностные и приповерхностные эндогенно-экзогенные структуры.

4. Уникальность минерагении Сибирского кратона заключается в том, что в контурах Ленского литосферного корня расположена Якутская алмазоносная провинция, в контурах Верхоянской верхнемантийной астенотинзы – Верхояно-Черская золотоносная провинция, а в контурах Алданской коромантийной области деструкции литосферы – Алдано-Становая золотоносная провинция. Таким образом, намечается важная роль литосферных элементов в размещении месторождений золота и алмаза в пределах Сибирского кратона.

Литература

1. Амбарцумян В.А. Явления непрерывной эмиссии и источники звездной энергии // Научные труды. Ереван. 1960. Т.2. С. 189-212.
2. Амбарцумян В.А. Современное естествознание и философия // УФН, 1968. Т.96. Вып. С. 3-19.
3. Бакал Дж. Нейтринная астрофизика. М.: Мир. 1993. 624 с.
4. Белов С.В., Бурмистров А.А., Соловьёв А.А. и др. Интегрированный системный анализ базы данных «Карбонатиты кимберлиты мира» с применением ГИС-технологии // Известия Секции наук о Земле РАЕН, Выпуск 18, декабрь 2008 г. с 41-70.
5. Белов С.В., Лапин А.В., Толстов А.В., Флоров А.А. Минерагения платформенного магматизма (траппы, карбонатиты, кимберлиты), Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2008, 537с.
6. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М.: Наука. 1965. 374 с.
7. Всехсвятский С.К. Космогония Солнечной системы. Сб. ст. Проблемы современной космогонии. М.: Наука. 1972. с. 316-414.
8. Гаранин В.К. Полигенность и дискретность – фундаментальные основы генезиса природного алмаза. Смирновский сборник-2017. М.: МАКС-Пресс, С. 23–48.
9. Гареев Ф.А., Гареева Г.Ф., Жидкова И.Е. Механизм процесса холодной трансмутации ядер химических элементов. // Геоинформатика 2003, №1 с. 51-53.
10. Гурбанов А.Г., Богатиков О.А., Карамурзов Б.С. Цуканова, Лексин А.Б., Газеев В.М., Мохов А.В., Горностаева Т.А., Горбачева С.А., Жариков А.В., Шмонов В.М. Приповерхностные магматические камеры «спящего» вулкана Эльбрус (Россия): новый вид дегазации расплава, её геохимические особенности и рудная минерализация. Вестник Владикавказского научного центра, т.9, №2, 2009, С.24-36.
11. Добрецов Н.Л. Геологические факторы глобальных изменений и периодичность геологических процессов // Геология и геофизика. 1994. Т. 35. № 3, 5. С.3-21; С.3-19.
12. Кондратов Л.С., Старостин В.И., Воинков Д.М., Дегтярев М.А. Газы пород и возможности их использования для поисков кимберлитовых трубок. Вестн.МГУ, сер.4, геология, 2006, с.24-31
13. Кривицкий В.А. Ядерная диссоциация химических элементов в геохимической истории развития Земли // Геоинформатика. 2003. №1, с. 42-50.

14. Кривицкий В.А. Парадоксы трансмутации и развитие Земли. Неочевидные доказательства. М.: Изд-во «Академика» 2016. 239 с.
15. Левицкий В.В., Смирнов В.И., Хренов П.Н., Поповняк И.В., Делин Б.Г. Периодичность эндогенного рудообразования // ДАН СССР. 1986. Т.286. №5. С. 1195-1199.
16. Макаренко Г.Ф. Периодичность базальтов, биокризисы, структурная симметрия Земли. М.: АО Геоинформмарк. 1997. № 3. С. 1-96.
17. Маракушев А.А. Рудоносность взрывных кольцевых структур. Геол.рудн.м-ний, 1996, т.38, №6, с.500-511
18. Маракушев А.А., Богатырев О.С., Феногенов А.Д., Панеях Н.А. Импактогенез и вулканизм. Петрология, т.1, №6, с.571-595.
19. Милановский Е.Е. Развитие и современное состояние проблемы расширения и пульсации Земли // Изв. вузов. Геология и разведка. 1982. № 7. С.3-29.
20. Милашов В.А. Среда и процессы образования природных алмазов. СПб, ВНИИОкеангеология, 2004, 102с
21. Розен О.М., Манаков А.В., Зинчук Н.Н. Сибирский кратон: формирования, алмазоносность. М.: Научный мир, 2006, 212 с.
22. Ронов А.Б., Ярошевский А.А., Мигдисов А.А. Химическое строение земной коры и геохимический баланс главных элементов М.: Недра. 1990. 182 с.
23. Семинский К.Ж., Семинский Ж.В., Спецкартирование разломных зон земной коры, ФГБОУ ВО «ИРНИТУ», 2016, 204с.
24. Старостин В.И., Сорохтин О.Г. Сакия Д.Р. Развитие Земли и образование месторождений полезных ископаемых. М.: МАКС-Пресс, 2010. – 476с.
25. Старостин В.И. Металлогения. М.: КДУ, 2012, 560с.
26. Стогний Г.А., Стогний В.В. Региональные рудоконтролирующие геодинамические системы золотого оруденения Северо-Востока России: геолого-геофизический аспект. Современное состояние наук о Земле. М.: изд-во МГУ, 2008. С. 1788-1991.
27. Тимофеев В.И. О россыпной золотоносности бассейна р. Вилюй // Разведка и охрана недр.1965. № 6. С. 1-5.
28. Трушков Ю.Н., Избеков Э.Д., Тимофеев В.И., Попова А.И. Золотоносность Вилюйской синеклизы и её обрамления. Новосибирск: Наука, 1975. 260 с.
29. Ферсман А.Е. Геохимия. Т. IV. Л.: Госхимиздат. 1939. 356 с.
30. Фролов А.А., Лапин А.В., Толстов А.В., Зинчук Н.Н., Белов С.В., Бурмистров А.А. Карбонатиты и кимберлиты (взаимоотношения, минерагения, прогноз) М.: НИА «Природа», 2005. 539 с.
31. Хаин В.Е. Основные проблемы современной геологии. М.: МГУ. 1995. 348 с.
32. Хаин В.Е. Минерагenez и развитие Земли. Смирновский сборник-2000. М.: МАКС-Пресс, С. 23–32.
33. Хаин В.Е., Ясаманов Н.А. Крупнейшие тектонические события и галактическая орбита//ДАН РАН. 1993. Т.331. № 5. С.594-596.
34. Хачатрян Г.К. Азот и водород в алмазах мира – как индикаторы их генезиса и критерии прогнозов и поисков коренных алмазных месторождений
35. Автореферат докторской диссертации. М., ЦНИГРИ. 2016, 48с.
36. Шкодзинский В.С. Генезис кимберлитов и алмазов. Якутск, ОАО «Медиа-холдинг Якутия», 2009, 352с.
37. Широков Ю.М., Юдин Н.П., Ядерная физика. М.: Наука. 1980. 727 с.
38. Шкловский И.С. Сверхновые звезды и связанные с ними проблемы. М.: Наука. 1976. 440 с.
39. Bahcall J.W., Soneira R.M. Astrophysical Journal. V. 155. p.721.
40. Bahcall J.W., Soneira R.M., ApJSuppl. 1980, v. 44, No. 1, pp. 73–110.

41. Simon G.W., Weiss N.O. Convective structures in the San // *Monat. Nat Royol Astrou. Soc.* 1991. Vol. 252. p. 1-5.
42. Stothers R.B. Hot spots and San spots: Surface of deep mantle convection in the Earth and San // *Earth and Planet Sci. Lett*, 1993. Vol. 116. P. 1-18.
43. *Science. News.* 1997. Vol.151. №13. p.194.
44. The Great Mineral Fields of Africa Episodes, Special Issue for 35 IGC, Cape Town, South Africa, vol.39, №2, June 2016.



Каминский Феликс Витольдович – выпускник геолфака МГУ 1959 года, доктор геолого-минералогических наук, профессор, академик РАЕН. После окончания университета работал в Вилуйской и Алданской экспедициях Аэрогеологии (1959-1971), затем в ЦНИГРИ (1971-1994). Участвовал в открытиях бокситов, месторождений золота и алмазов. Открыл несколько кимберлитовых трубок и более десяти проявлений алмазов. Участник открытия месторождения им. Ломоносова в Архангельской области, за что награждён Орденом Почёта. В 1991 г. удостоен Государственной премии СССР за создание и разработку методов прогнозирования, поисков и разведки алмазных месторождений. С 1994 г. работает в Канаде, где возглавил компанию KM Diamond Exploration Ltd., занимающуюся поисками и оценкой месторождений алмаза. Руководил открытием кимберлитов в Северном Онтариио,

алмазоносных даек на севере Канады, россыпных и коренных месторождений алмазов в Венесуэле и Бразилии. Консультировал геолого-разведочные работы на алмазы в Южной и Западной Африке, Австралии, арабских и других странах. Почётный геолог Канады. В качестве приглашённого профессора читал лекции в университетах Австралии, Японии, Англии. Опубликовал около 200 научных работ. Последняя монография, изданная в 2007 г. Springer, посвящена составу и строению нижней мантии.

Ф.В. Каминский **ОСОБЕННОСТИ НИЖНЕМАНТИЙНЫХ АЛМАЗОВ**

Нижне-мантийные алмазы содержат совершенно иной состав минералов-включений по сравнению с верхне-мантийными. Этот состав представлен тремя парагенетическими ассоциациями: ультраосновной, основной и карбонатитовой. В ультраосновной ассоциации, вместо обычных для литосферных алмазов граната-пирропа, клино- и ортопироксенов, хромита и других минералов, присутствуют бриджманит, ферропериклаз, CaSi-перовскит, SiO₂ и другие. Особенностью этой ассоциации является присутствие свободного кремнезёма, встреченного во всех регионах нижне-мантийных алмазов. Основная ассоциация в нижне-мантийных алмазах является генетическим аналогом эклогитовой ассоциации в верхне-мантийных алмазах. В погружающихся литосферных плитах на смену омфакиту и альмандин-пироповому гранату приходят глинозёмистые бриджманит и CaSi-перовскит, а также различные Al-фазы. Особенностью нижне-мантийных алмазов является довольно частое присутствие в них включений минералов карбонатитовой ассоциации: карбонатов, галидов, флюоридов, фосфатов и др. Высокие температуры образования алмазов в нижней мантии обуславливают отсутствие кубических кристаллов среди этих алмазов. Длительное пребывание в условиях высоких температур приводит к частичному окислению октаэдрических алмазов с приобретением ими округлых додекаэдрических и тетрагексаэдрических форм. Одновременно диффузия азота выражается в его агрегации и появлении В-центров, а также в миграции азота из структурных азотных центров с образованием чисто азотных включений. Длительные стабильные условия в нижней мантии отражаются в однородности внутреннего строения алмазов, фиксируемого в однородности их люминесцентных свойств. Изотопные составы углерода и водорода в нижне-мантийных алмазах, в отличие от верхне-мантийных, заключены в весьма узких пределах и составляют соответственно $\delta^{13}\text{C} = -4.32\text{‰} \pm 2.45\text{‰} (2\sigma)$ и $\delta^{15}\text{N}_{\text{atm}} = -3.00\text{‰} \pm 2.37\text{‰}$. Эти значения могут рассматриваться в качестве изотопных характеристик нижней мантии.

Введение

В последние десятилетия среди минеральных включений в алмазах были обнаружены парагенетические минеральные фазы, образовавшиеся при давлениях более 24 гигапаскалей (ГПа), соответствующих условиям нижней мантии: бриджманит MgSiO_3 , ферропериклаз $(\text{Mg,Fe})\text{O}$, CaSi-перовскит CaSiO_3 и другие (Harte et al., 1999; Каминский, 2011). Они свидетельствуют о том, что некоторые алмазы образовались в нижней мантии и впоследствии были вынесены на поверхность кимберлитовыми трубками. К настоящему времени ниже-мантийные алмазы известны в Бразилии, Гвинее, Южной Африке, Канаде, Южной Австралии, и некоторых других регионах (рис. 1). В России алмазы предположительно ниже-мантийного генезиса встречены в якутской кимберлитовой трубке Удачная (Зедгенизов и др., 1998, 2001) и в россыпях северо-восточной Якутии (Sobolev et al., 1999), однако в этих алмазах зафиксированы включения только ферропериклаза вне ассоциации с другими ниже-мантийными минералами, и их принадлежность к нижней мантии нуждается в подтверждении.

Возможность образования алмаза в нижней мантии не противоречит теоретическим и экспериментальным данным о его устойчивости, согласно которым алмаз плавится лишь при температурах, превышающих 5000 К и стабилен при давлениях, вдвое превышающих давление в центре Земли (Correa et al. 2006; Oganov et al. 2013). В то же время комплексное изучение ниже-мантийных алмазов показало, что их физические и кристаллографические свойства отличаются от свойств обычных, выше-мантийных алмазов.

Минеральные включения в ниже-мантийных алмазах

Состав минеральных включений является главным признаком различия ниже- и выше-мантийных алмазов. В ниже-мантийных алмазах он представлен тремя парагенетическими ассоциациями: ультраосновной, основной и карбонатитовой (Каминский, 2011).

В ультраосновной ассоциации, вместо обычных для литосферных алмазов граната-пирропа, клино- и ортопироксенов, хромита и других минералов, присутствуют бриджманит MgSiO_3 , ферропериклаз $(\text{Mg,Fe})\text{O}$, CaSi-перовскит CaSiO_3 , SiO_2 и другие. В целом эту ассоциацию, в отличие от преимущественно силикатной для верхней мантии, можно назвать оксидной. Особенностью этой ассоциации является присутствие свободного кремнезёма, встреченного во всех регионах ниже-мантийных алмазов в количестве от 1,1 % до 20 % от всех включений в алмазе.

Основная ассоциация в ниже-мантийных алмазах является генетическим аналогом экологитовой ассоциации в выше-мантийных алмазах. В условиях повышения давлений до 24 ГПа и более, в погружающихся литосферных плитах на смену омфакиту и альмандин-пироповому гранату приходят глинозёмистые бриджманит и CaSi-перовскит, а также различные Al-фазы.

Особенностью ниже-мантийных алмазов является довольно частое присутствие в них включений минералов карбонатитовой ассоциации: карбонатов, галидов, флюоридов, фосфатов и др. (Kaminsky et al., 2016). Эти минералы никогда не встречались включёнными в литосферные алмазы, за исключением единичных находок кальцита и магнезита. Наличие минералов карбонатитовой ассоциации в ниже-мантийных алмазах объясняется образованием этих алмазов из натрокарбонатитового флюида, образующегося в самых нижних горизонтах нижней мантии.

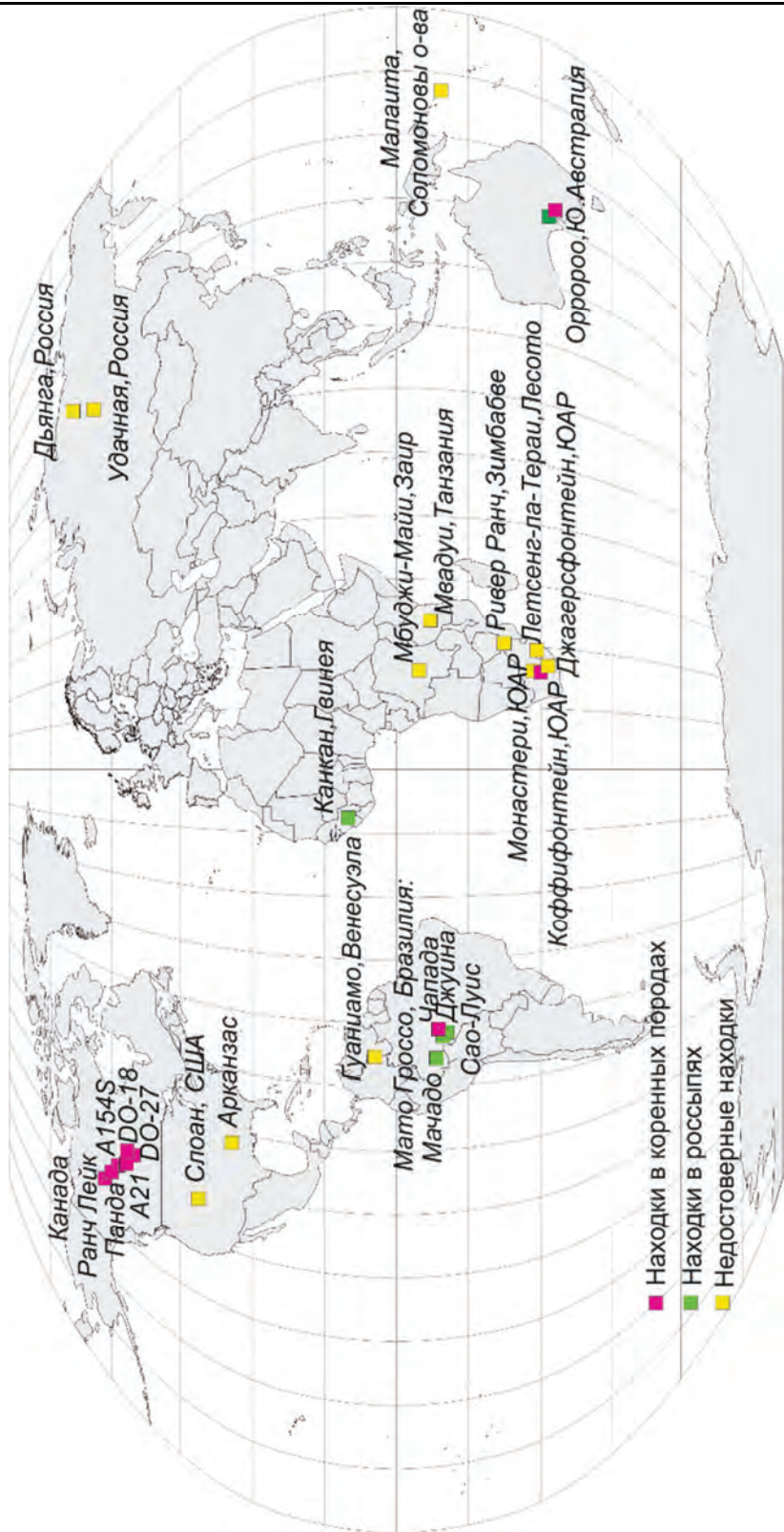


Рис. 1. Известные находки нижне-мантийных алмазов на Земле.

Морфология

Среди обычных верхне-мантийных, литосферных алмазов наблюдается большое разнообразие морфологических форм кристаллов: октаэдры, кубы, ромбододекаэдрические, тетрагексаэдрические и комбинационные формы, а также их двойники и агрегаты. Их поверхности несут различные следы роста и растворения. В противоположность верхне-мантийным алмазам, нижне-мантийные кристаллы значительно более однообразны. Прежде всего, среди нижне-мантийных алмазов полностью отсутствуют кубические кристаллы; отсутствуют даже кубические грани на комбинационных кристаллах. Поскольку кубические алмазы являются низкотемпературными образованиями (Литвин, 1968), этот факт следует рассматривать как следствие более высоких температур образования нижне-мантийных алмазов по сравнению с верхне-мантийными.

Вторым принципиальной особенностью нижне-мантийных алмазов является преобладание среди них додекаэдроидов (Дод) и тетрагексаэдроидов (Тетр), составляющих, в различных месторождениях, от 28 % до 70 % всех кристаллов. Количество октаэдров (Окт) в этих месторождениях составляет всего 0-13 %; в некоторых месторождениях октаэдры полностью отсутствуют. Среднее отношение (Дод + Тетр)/ Окт глубинных алмазов варьирует от 2,9 до 13,1. Рассматривая образование округлых додекаэдрических и тетрагексаэдрических форм в качестве результата растворения кристаллов, это свидетельствует о длительной истории высокотемпературного окисления нижне-мантийных алмазов.

Нижне-мантийные додекаэдроиды и тетрагексаэдроиды алмаза характеризуются весьма ограниченным количеством особенностей поверхности кристаллов по сравнению с верхне-мантийными алмазами. Наиболее обычной скульптурой поверхности является т.н. «шагреновый рельеф» (рис. 2А), обусловленный наличием мелких бугорков неправильной формы (рис. 2Б). Этим нижне-мантийные алмазы также отличаются от верхне-мантийных, у которых наблюдаются самые разнообразные скульптуры поверхности (Кухаренко, 1955; Орлов, 1973; Robinson, 1979).

Люминесценция

Изучены различные виды люминесценции нижне-мантийных алмазов: фотолюминесценция, катодолюминесценция, лазерная люминесценция, которые также подтвердили их отличия от верхне-мантийных алмазов.

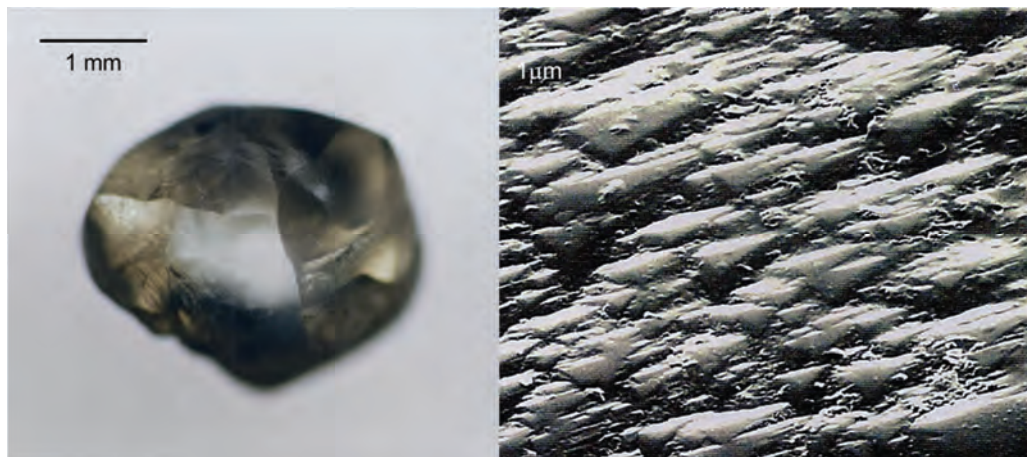


Рис. 2. Додекаэдроид алмаза с шагреновой поверхностью из района Джунин, Бразилия. А - внешний вид; Б – деталь поверхности.

ФотOLUMИнесценция (ФЛ) практически отсутствует в ряде месторождений ниже-мантийных алмазов, свидетельствуя тем самым о высоком совершенстве кристаллической структуры этих алмазов. Так, например, в россыпи Мачадо (Бразилия) большинство алмазов люминесцируют весьма слабо или вообще не люминесцируют (Bulanova et al., 2008). Среди цветов флуоресценции преобладают синие (40-80 %); остальные представлены зелёно-бирюзовыми (9-15 %), розовыми (4-15 %) и жёлто-коричневыми (2-8 %).

Спектры ФЛ, определённые для алмазов района Джуина (Бразилия), отличаются от спектров ФЛ литосферных алмазов (Yugueva et al., 2015). Наряду с присутствием в этих спектрах центров 490,7 нм, Н3 и Н4, свидетельствующих о сильных пластических деформациях в кристаллах, наблюдается также центр 558,5 нм, характерный для низко-азотных алмазов, каковыми являются почти все ниже-мантийные алмазы. В целом же, в спектрах ФЛ ниже-мантийных алмазов полностью преобладают системы 536 нм и 576 нм, которые (как и центр 558,5 нм) не характерны для литосферных алмазов.

КатодOLUMИнесценция (КЛ) ниже-мантийных алмазов также весьма слабая; в целом она вполне однородна (Heyman et al. 2005; Bulanova et al. 2008). Среди проанализированных алмазов из россыпи Рио Сорисо (Бразилия) преобладают кристаллы с синим и бирюзовым (каждый по 38 % от общего количества образцов) цветами КЛ; присутствуют также зелёный (13 %) и фиолетовый цвета. Синий и зелёный цвета КЛ связаны с двумя широкими полосами поглощения в областях 435-445 нм и 483-512 нм. Первая область характерна для многих обычных алмазов, тогда как вторая может рассматриваться в качестве специфичной для ниже-мантийных алмазов. При этом поглощение при ~510 нм может быть связано с центром Н3, интерпретируемым как $N_2 +$ вакансия (Zaitsev, 2001).

Лазерно-индуцированная люминесценция (ЛЛ) ниже-мантийных алмазов из района Джуина (Бразилия) была исследована с помощью пульсирующих лазеров на частотах 375 нм, 405 нм, 470 нм, 532 нм и 640 нм (Мартынович и др., 2013; Миронов и др., 2015). Эти исследования показали, что ниже-мантийные алмазы весьма однородны, что объясняется высокой стабильностью Р-Т условий их формирования. Наблюдаемая в некоторых алмазах тангенциальная зональность свидетельствует об их формировании как октаэдрических форм, которые лишь на заключительных стадиях сменялись резорбированием с образованием округлых кристаллов. В то же время многокомпонентность спектров люминесценции ниже-мантийных алмазов оказалась значительно более сложной, чем у верхне-мантийных. В дополнение к выявленным ранее структурным примесным центрам, с помощью ЛЛ были выявлены центры с различной степенью агрегированности азота: 575 нм ($N+V$), Н3 (N_2+V), Н3 (N_3+V), и Н4 (N_4+2V), в которых азот содержится в форме одного, двух, трёх и четырёх атомов. При этом распределение центров люминесценции в объеме образцов достаточно однородно, что может быть обусловлено температурами и давлениями в их ростовой и постростовой истории, существенно более высокими по сравнению с литосферными алмазами. Кинетика ЛЛ с возбуждением на 375 нм и 532 нм показала значительно более длительное затухание люминесценции в ниже-мантийных алмазах (23-83 нс), чем в литосферных кристаллах (8-13 нс) (Степанов и др., 2016).

Азот и водород в ниже-мантийных алмазах

Ниже-мантийные алмазы существенно отличаются от всех прочих алмазов по концентрациям и составу примесных центров, главными из которых являются азот и водород.

Азот в алмазах содержится в количестве от 0 до 2500 at.ppm и образует три основных типа структурных примесей: А, В и С. С-примесь представлена одиночными атомами азота, характерными, главным образом, для искусственных и некоторых

некимберлитовых алмазов. А-центры представлены парами азотных атомов, замещающими в структуре алмаза атом углерода. В-центры состоят из четырёх атомов азота, которые тетраэдрически концентрируются вокруг структурных вакансий. Экспериментально показано, что с течением времени под влиянием высоких температур происходит агрегация одно- и двухатомных азотных центров в четырёхатомные (В). В природных условиях этот процесс занимает сотни миллионов и миллиарды лет. Исторически по содержанию и составу азотных центров алмазы были разделены на группы I (азотные) и II («безазотные», содержащие менее 5-20 at.ppm N). Группа I составляет подавляющее большинство алмазов и подразделяется на типы Ia (содержащие азот в формах А и В) и Ib (содержащие азот в форме С). В свою очередь, тип Ia, в зависимости от преобладания центров А или В, подразделяется далее на IaA и IaB. Большинство природных алмазов относится к переходной группе IaAB, в которой степень агрегированности азота $[100B/(A+B)]$ составляет 20-80 %. Чистые типы IaA и IaB редки.

Нижне-мантийные алмазы чётко отличаются от всех остальных очень низким содержанием азота (большинство этих алмазов относится к группе II «безазотных» алмазов) и высокой степенью агрегированности азота. От 12 % до 90 % (в различных месторождениях) нижне-мантийных алмазов содержат меньше 10-20 at.ppm N. В азотсодержащих алмазах (с 21-305 at.ppm N) агрегация азота составляет в среднем 94 %, т.е. они относятся к типу IaB (рис. 3). У некоторых алмазов наблюдается зональность с сильным увеличением концентрации азота от ядра к периферии кристаллов (Bulanova et al., 2010; Zedgenizov et al., 2014). Согласно расчётам Taylor and Milledge (1995), такая высокая степень агрегации азота требует, при температуре 1250 К, трёх миллиардов лет. В условиях нижней мантии, где на глубине 1000 км температура составляет около 2000 К, для такой степени агрегации азота достаточно одного миллиарда лет.

В некоторых алмазах были встречены включения чистого азота, образующие идиоморфные включения размером 20-100 нм (Kaminsky et al., 2013, 2015; рис. 4). Вероятно, они являются результатом длительной диффузии азота в условиях высоких температур.

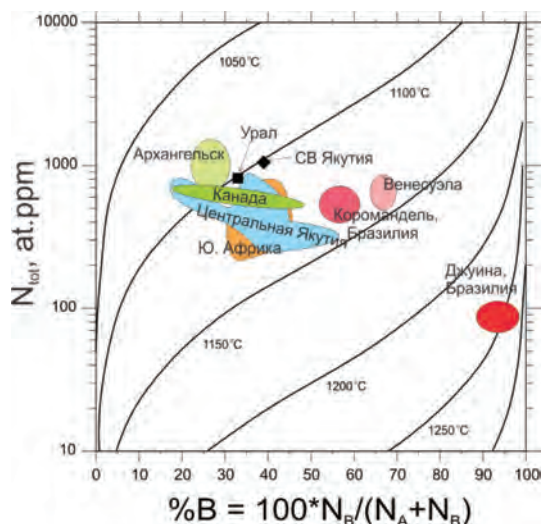


Рис. 3. Средние содержания азота и степень его агрегации в алмазах из различных месторождений. Изотермические кривые соответствуют геологическому времени 3 миллиарда лет (Taylor and Milledge, 1995).

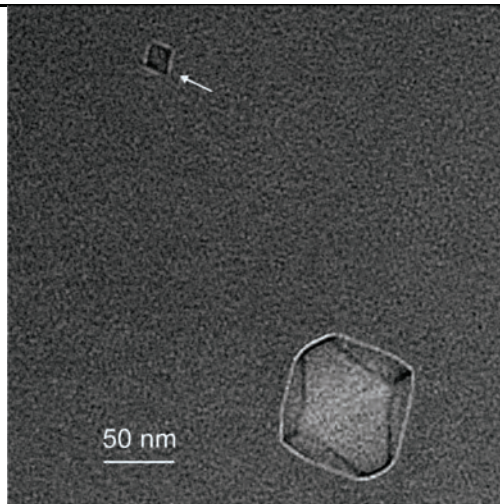


Рис. 4. Электронно-микроскопический снимок включений азота в нижне-мантийном алмазе из района Джунна (Бразилия). По Kaminsky et al. (2013).

Водород в алмазах является второй главной структурной примесью в алмазе, хотя до сих пор не решены аналитические проблемы определения концентраций этого элемента. Его концентрации измеряются в условных единицах по интенсивности поглощения в полосе 3107 см^{-1} инфракрасных спектров алмаза. В спектрах большинства алмазов пик при 3107 см^{-1} вообще отсутствует; в случае присутствия его интенсивность не превышает $0,1\text{--}0,3\text{ см}^{-1}$. Особенностью ниже-мантийных алмазов являются повышенные концентрации водорода: в 70-89 % этих алмазов они составляют $4\text{--}6\text{ см}^{-1}$ (Kaminsky and Khachatryan 2001). Природа водородных центров в алмазе остаётся не до конца ясной. Считалось, что они представляют собой C-H структурные центры. В настоящее время принята модель, согласно которой водородные центры в алмазе являются комбинацией дефекта N3 и атома водорода VN₃H (Goss et al., 2014). В таком случае понятна наблюдаемая корреляция водородных и азотных центров (Kaminsky et al., 2009; Liu et al., 2016).

Изотопные составы углерода и азота в ниже-мантийных алмазах

Углерод. Изотопный состав углерода верхне-мантийных алмазов из кимберлитов и лампроитов варьирует в широком диапазоне значений от -39 ‰ до $+5\text{ ‰}$ $\delta^{13}\text{C}$ VPDB (Галимов, 1984; Cartigny 2005). Хотя «лёгкий» изотопный состав углерода ($\delta^{13}\text{C}$ менее -10 ‰) характерен в основном для алмазов эклогитового парагенезиса, такой состав отмечен также для некоторых верхне-мантийных алмазов ультраосновного парагенезиса из африканских и сибирских кимберлитовых трубок.

Алмазы с ниже-мантийными включениями характеризуются весьма узким интервалом значений $\delta^{13}\text{C}$, заключённым в пределах от -10 ‰ до -1 ‰ (рис. 5). В их число входят также алмазы с включениями карбонатитовой ассоциации, в которых $\delta^{13}\text{C}$ составляет от $-8,85\text{ ‰}$ до $-2,31\text{ ‰}$ (Pinti et al., 2016). Изотопный состав углерода ниже-мантийных алмазов редко выходит за пределы $-5,60\text{ ‰}$ и $-0,78\text{ ‰}$, составляя в среднем $-4,32\text{ ‰} \pm 2,45\text{ ‰}$ (2σ). Это значение может быть принято в качестве ювенильного состава углерода нижней мантии.

Азот. Вариации изотопного состава азота в природных алмазах различного генезиса заключены в очень широких пределах: от -40 ‰ до $+15\text{ ‰}$ $\delta^{15}\text{N}_{\text{atm}}$ (Southworth, 2016). Ниже-мантийные алмазы гораздо более однородны в этом отношении: значения $\delta^{15}\text{N}_{\text{atm}}$ в них колеблются в пределах между $-5,2\text{ ‰}$ и $-1,0\text{ ‰}$ (Hutchison et al. 1999; Palot

et al. 2012) (рис. 6). Среднее значение $\delta^{15}\text{N}_{\text{atm}}$, которое может быть принято за изотопный состав азота в нижней мантии, составляет $-3.00\text{‰} \pm 2.37\text{‰}$ $\delta^{15}\text{N}_{\text{atm}}$ (2σ).

Выводы и заключения

Разноплановые исследования ниже-мантийных алмазов показывают их существенные отличия от верхне-мантийных в морфологии, спектральных характеристиках, содержаниях и формах примесей азота и водорода, изотопных характеристиках углерода и азота. Эти отличия обусловлены образованием ниже-мантийных алмазов в значительно более глубоких условиях по сравнению с литосферой.

Прежде всего, в ниже-мантийных алмазах наблюдается совершенно иная ассоциация минеральных включений, чем в литосферных алмазах. Вместо силикатов (граната и пироксенов) и хромита в них находятся оксиды: бриджманит, ферропериклаз, CaSi-перовскит, SiO_2 и другие. В погружающихся литосферных плитах эклогитовая ассоциация (омфациит + альмандин-пироповый гранат) сменяется глинозёмистыми бриджманитом и CaSi-перовскитом, SiO_2 и другими специфическими фазами, которые также образуют включения в ниже-мантийных алмазах. В качестве включений появляются также минералы карбонатитовой ассоциации.

Высокие температуры образования алмазов в нижней мантии (порядка 2000-2500 К, согласно мантийной адиабате; Katsura et al., 2010) обуславливают отсутствие низкотемпературных кубических кристаллов среди этих алмазов. Длительное пребывание в условиях высоких температур приводит к частичному окислению октаэдрических алмазов с приобретением ими округлых додекаэдрических и тетрагексаэдрических форм. Одновременно диффузия азота выражается в его агрегации и появлении В-центров, а также в миграции азота из структурных азотных центров с образованием чисто азотных включений.

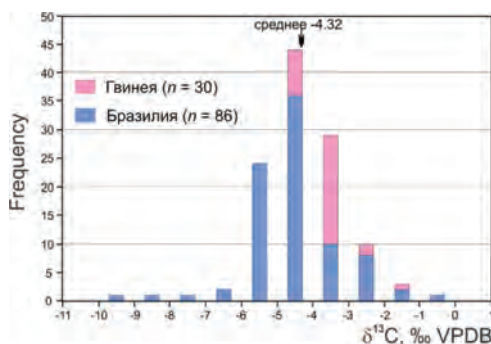


Рис. 5. Изотопный состав углерода в ниже-мантийных алмазах.

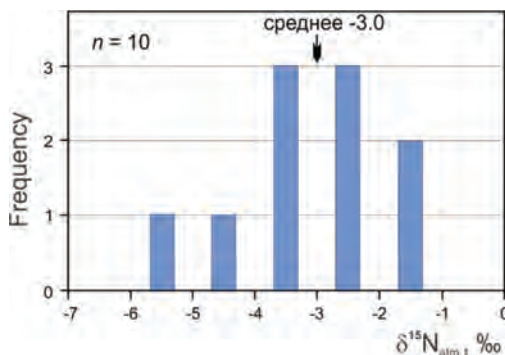


Рис. 6. Изотопный состав азота в ниже-мантийных алмазах из Бразилии.

Длительные стабильные условия в нижней мантии отражаются в однородности внутреннего строения алмазов, фиксируемого в однородности их люминесцентных свойств.

Изотопные составы углерода и водорода в ниже-мантийных алмазах, в отличие от верхне-мантийных, заключены в весьма узких пределах и составляют соответственно $\delta^{13}\text{C} = -4.32 \text{ ‰} \pm 2.45 \text{ ‰}$ (2σ) и $\delta^{15}\text{N}_{\text{atm}} = -3.00 \text{ ‰} \pm 2.37 \text{ ‰}$. Эти значения могут рассматриваться в качестве изотопных характеристик нижней мантии.

Литература

1. Галимов, Э.М. (1984) Вариации изотопного состава углерода алмазов и связь их с условиями алмазообразования. *Геохимия*, № 8, с. 1091-1115.
2. Зедгенизов, Д.А., Логвинова, А.М., Шацкий, В.С., Соболев, Н.В. (1998) Включения в микроалмазах из некоторых кимберлитовых трубок Якутии. *Доклады Академии Наук*, т. 359(1), с. 74-79.
3. Зедгенизов, Д.А., Ефимова, Э.С., Логвинова, А.М., Шацкий, В.С. и Соболев, Н.В. (2001) Включения ферропериклаза в микроалмазе из кимберлитовой трубки Удачная, Якутия. *Доклады Академии Наук*, т. 377(3), с. 381-384.
4. Каминский, Ф.В. (2011) Минералогия и геохимия нижней мантии. Изд. ГЕОХИ РАН, 68 стр.
5. Кухаренко, А.А. (1955) Алмазы Урала. Госгеолтехиздат, М., 510 стр.
6. Литвин, Ю.А. (1968) О механизме образования алмаза в системе металл-углерод. *Известия АН СССР. Неорганические материалы*, т. 4(2), с. 673-677.
7. Мартынович Е.Ф., Миронов В.П., Ракевич А.Л., Степанов Ф.А., Емельянова А.С., Шацкий В.С., Зедгенизов Д.А. (2013) Спектрально-временная люминесцентная микроскопия суперглубинных алмазов провинции Жуина. *Известия высших учебных заведений. Физика*, т. 56, № 2-2, с. 227-232.
8. Миронов В.П., Ракевич А.Л., Степанов Ф.А., Емельянова А.С., Шацкий В.С., Каги, Х., Мартынович Е.Ф. (2015) Люминесценция алмазов россыпи Сао-Луис (Бразилия). *Геология и Геофизика*, т. 56(5), с. 932-940.
9. Орлов, Ю.Л. (1973) Минералогия алмаза. Изд. Наука, М., 220 стр.
10. Степанов Ф.А., Миронов В.П., Ракевич А.Л., Шацкий В.С., Зедгенизов Д.А., Мартынович Е.Ф. (2016) Кинетика затухания красной люминесценции в алмазах Бразилии. *Известия Российской академии наук. Серия физическая*, т. 80(1), с. 81-85.
11. Bulanova, G.P., Smith, C.B., Kohn, S.C., Walter, M.J., Gobbo, L., Kearns, S. (2008) Machado River, Brazil – a newly recognized ultradeep diamond occurrence. In: 9th International Kimberlite Conference Extended Abstract No. 9IKC-A-00233.
12. Bulanova, G.P., Walter, M.J., Smith, C.B., Kohn, S.C., Armstrong, L.S., Blundy, J., Gobbo, L. (2010) Mineral inclusions in sublithospheric diamonds from Collier 4 kimberlite pipe, Juina, Brazil: subducted protoliths, carbonated melts and primary kimberlite magmatism. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 159(4), p. 489-510. DOI 10.1007/s00410-010-0490-6.
13. Cartigny, P. (2005) Stable isotopes and the origin of diamond. *Elements*, v. 1(2), p. 79-84.
14. Correa, A.A., Bonev, S.A., Galli, G. (2006) Carbon under extreme conditions: Phase boundaries and electronic properties from first-principles theory. *Proceedings of the National Academy of the U.S.A.*, v. 103(5), p. 1204-1208. DOI: 10.1073/pnas.0510489103.

15. Goss, J.P., Briddon, P.R., Hill, V., Jones, R., Rayson, M.J. (2014) Identification of the structure of the 3107 cm⁻¹ H-related defect in diamond. *Journal of Physics. Condensed Matter*, v. 26(14), 145801.
16. Harte, B., Harris, J.W., Hutchison, M.T., Watt, G.R., Wilding, M.C. (1999) Lower mantle mineral associations in diamonds from Sao Luiz, Brazil. In: *Mantle Petrology: Field Observations and High Pressure Experimentation: A Tribute to Francis R. (Joe) Boyd*. Ed. by Y. Fei, C.M. Bertka and B.O. Mysen. *Geochemical Society Special Publication* No. 6, pp. 125- 153.
17. Hayman, P.C., Kopylova, M.G., Kaminsky, F.V. (2005) Lower mantle diamonds from Rio Soriso (Juina, Brazil). *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 149(4), p. 430-445.
18. Kaminsky, F.V., Khachatryan, G.K. (2001) Characteristics of nitrogen and other impurities in diamond, as revealed by infrared absorption data. *Canadian Mineralogist*, v. 39(6), p. 1733-1745.
19. Kaminsky, F.V., Khachatryan, G.K., Andreazza, P., Araujo, D., Griffin, W.L. (2009) Super-deep diamonds from kimberlites in the Juina area, Mato Grosso State, Brazil. *Lithos*, v. 112S (2), p. 833-842.
20. Kaminsky, F.V., Ryabchikov, I.D., Wirth, R. (2016a) A primary natrocarbonatitic association in the Deep Earth. *Mineralogy and Petrology*, v. 110 (2-3), p. 387-398. DOI: 10.1007/s00710-015-0368-4.
21. Kaminsky, F.V., Wirth, R., Schreiber, A. (2013) Carbonatitic inclusions in Deep Mantle diamond from Juina, Brazil: New minerals in the carbonate-halide association. *Canadian Mineralogist*, v. 51(5), p. 669-688. DOI: 10.3749/canmin.51.5.669.
22. Kaminsky, F.V., Wirth, R., Schreiber, A. (2015) A microinclusion of lower-mantle rock and some other lower-mantle inclusions in diamond. *Canadian Mineralogist*, v. 53(1), p. 83-104. DOI: 10.3749/canmin.1400070.
23. Katsura, T., Yoneda, A., Yamazaki, D., Yoshino, T., Ito E. (2010) Adiabatic temperature profile in the mantle. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, v. 183, p. 212-218. DOI: 10.1016/j.pepi.2010.07.001.
24. Liu, X., Jia, X., Fang, C., Ma, H.-A. (2016) Diamond crystallization and growth in N–H enriched environment under HPHT conditions. *CrystEngComm*, v. 18, p. 8506-8515. DOI: 10.1039/C6CE02034H.
25. Oganov, A.R., Hemley, R.J., Hazen, R.M., Jones, A.P. (2013) Structure, bonding, and mineralogy of carbon at extreme conditions. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, v. 75, p. 47-77. DOI: 10.2138/rmg.2013.75.3.
26. Palot, M.P., Cartigny, P., Harris, J.W., Kaminsky, F.V., Stachel, T. (2012) Evidence for deep mantle convection and primordial heterogeneity from N and C stable isotopes in diamond. *Earth and Planetary Science Letters*. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 357-358, p. 179-193.
27. Pinti, D.L., Ishida, A., Takahata, N., Sano, Y., Bureau, H., Cartigny, P. (2016) Micron-scale $\delta^{13}\text{C}$ determination by NanoSIMS in a Juina diamond with a carbonate inclusion. *Geochemical Journal*, v. 50(4), e7-e12. DOI: 10.2343/geochemj.2.0427.
28. Robinson, D.N., 1979. Surface textures and other features of diamonds. Ph.D. Thesis (unpublished), University of Cape Town, Rondebosh, South Africa, 221 pp.
29. Sobolev, N.V., Yefimova, E.S., Koptil, V.I. (1999) Mineral inclusions in diamonds in the Northeast of the Yakutian diamondiferous province. In: *Proceedings of the VIIth International Kimberlite Conference*, vol. 2. Ed. by J.J. Gurney, J.L. Gurney, M.D. Pascoe and S.H. Richardson. Red Roof Design, Cape Town, p. 816-822.
30. Southworth, R.E. (2016) The behaviour of the stable isotopes of nitrogen during diamond formation. Doctor of Philosophy Thesis, University College London, 170 pp.

31. Taylor, W.R., Milledge H.J. (1995) Nitrogen aggregation character, thermal history and stable isotope composition of some xenolith-derived diamonds from Roberts Victor and Finch. In: Sixth International Kimberlite Conference Extended Abstracts, Novosibirsk, August 1995, p. 620-622.
32. Yuryeva, O.P., Rakhmanova, M.I., Nadolinny, V.A., Zedgenizov, D.A., Shatsky, V.S., Kagi, H., Komarovskikh, A.Yu. (2015) The characteristic photoluminescence and EPR features of superdeep diamonds (São-Luis, Brazil). *Physics and Chemistry of Minerals*, v. 42, p. 707–722. DOI 10.1007/s00269-015-0756-7.
33. Zaitsev, A. (2001) *Optical properties of diamonds*. Springer, Berlin, 502 pp.
34. Zedgenizov, D.A., Kagi, H., Shatsky, V.S., Ragozin, A.L. (2014) Local variations of carbon isotope composition in diamonds from Sao-Luis (Brazil): evidence for heterogenous carbon reservoir in sublithospheric mantle. *Chemical Geology*, v. 240(1-2), p. 114-124.



Бобров Андрей Викторович родился 11 февраля 1972 года. Доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры петрологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. Крупный специалист в области минералогии мантии Земли. Научные интересы связаны с изучением происхождения алмаза и алмазоносных горных пород, исследованием петрогенезиса кимберлитов и включенных в них ксенолитов мантийных перидотитов и эклогитов, с экспериментальным моделированием условий генезиса алмаза и ассоциированных с ним минералов при высоких давлениях и температурах. Автор трех учебников по петрологии и более 150 научных публикаций.

А.В. Бобров

КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ВКЛЮЧЕНИЯ В АЛМАЗЕ – КЛЮЧ К ПОЗНАНИЮ МИНЕРАЛОГИИ МАНТИИ ЗЕМЛИ

Введение

Представления о составе и строении глубинных оболочек Земли начали формироваться еще в первой половине XX века, и их основой служили, главным образом, эксперименты при высоких температурах и давлениях, а также геофизические данные. Кроме того, при построении моделей состава мантии Земли используются данные метеоритики, термодинамики и результаты прямых геологических наблюдений.

Экспериментальное изучение фазовых превращений при P – T параметрах мантии Земли активно развивалось, начиная с 50-х годов прошлого века сразу в нескольких мировых научных центрах. Наибольших успехов достигла группа экспериментаторов Австралийского Национального Университета, возглавляемая профессором Эдвардом Рингвудом (1930–1993), которым в лабораторных условиях удалось получить такие важнейшие мантийные фазы как рингвудит [Ringwood, Major, 1966] и мэйджорит [Ringwood, Major, 1971], впоследствии обнаруженные в мантийных породах и метеоритах. Развитие и усовершенствование многопуансонного экспериментального оборудования [Kawai, Endo, 1970] дало ученым возможность исследовать практически все главные модельные и многокомпонентные системы мантии Земли вплоть до давлений ~ 30 ГПа, соответствующих самым верхним частям нижней мантии. В конце XX века возникла новая волна интереса к изучению минералов высоких давлений в связи с усовершенствованием техники алмазных наковален, разработанной еще в 1970-х годах [Mao, Bell, 1976] и использованием в ходе опытов лазерного нагрева [Boehler, 1996], что позволило моделировать термодинамические условия вплоть до ядра Земли и глубинных оболочек планет гигантов. Все эти успешные исследования и их результаты привели к тому, что в современной геологической науке сформировалось одно из важнейших научных направлений – *минералогия высоких давлений* [Ultrahigh-pressure mineralogy..., 1998], задачей которой является получение данных о химическом и фазовом составе и физических свойствах пород и минералов.

В изучении глубинного строения Земли большая роль принадлежит геофизическим и, прежде всего, сейсмическим методам, устанавливающим изменения в скоростях распространения сейсмических волн в результате землетрясений и искусственных взрывов [Хаин, Ломизе, 1995]. Эти изменения носят как плавный, так резкий (скачкообразный) характер. При этом скачок скорости распространения сейсмических волн намечает границы геосфер: 6–70 км (в среднем 33 км) – земная кора, 33–2900 км – мантия, 2900–6370 км – ядро Земли (рис. 1). Еще одной характеристикой, связанной с глубиной, является плотность, возрастание которой происходит за счет

увеличения содержания тяжелых элементов (Fe, Ni, Co и др.), уплотнения вещества при фазовых переходах и за счет сжатия под давлением вышележащих толщ. Большие достижения в изучении мантийных глубин связаны с появлением нового направления в геофизике – сейсмотомографии, – заключающейся в компьютерном анализе прохождения сейсмических волн от многих тысяч землетрясений через всю толщу мантии вплоть до ядра Земли. Использование данного метода позволило установить области повышенных и пониженных скоростей распространения сейсмических волн на различных глубинах мантии Земли, которым, в свою очередь, соответствуют области уплотнения и разуплотнения мантии, ее охлаждения и разогрева (мантийная конвекция).

Возможности изучения мантийного вещества прямыми геологическими методами крайне ограничены. В океанах, где земная кора намного тоньше, чем на континентах, вдоль разломов нередко обнажаются и становятся доступными для драгирования и прямых наблюдений с подводных обитаемых аппаратов мантийные перидотиты. На континентах известны древние аналоги океанической коры и верхней части мантии – офиолиты, выступающие на поверхность в пределах складчатых систем. Ценную информацию о составе нижних горизонтов земной коры и особенно мантии Земли дает изучение мантийных ксенолитов в базальтах континентов и океанических островов, а также в кимберлитах и лампроитах. Последние два типа пород нередко содержат ксенолиты, вынесенные из наиболее глубинных зон – фации глубинности гранатовых перидотитов, в которых нередко присутствуют кристаллы алмаза с включениями мантийных минералов, что позволило А.П. Бобривичу образно назвать кимберлитовые трубки «естественными скважинами в верхнюю мантию». В связи с этим, фактический материал об алмазоносных ассоциациях и их эволюции может быть получен на основе изучения: 1) минералов глубинных алмазоносных пород, представленных в виде ксенолитов в кимберлитах и лампроитах; 2) минералов, образующих сростания с алмазом, и 3) минералов, образующих включения в кристаллах алмаза. Во всех случаях уже имеется большой объем данных по различным алмазоносным провинциям мира (таблица 1), многие из которых нашли отражение в крупных публикациях последних десятиков лет [Соболев, 1974; Meyer, Tsai, 1976; Jaques et al., 1986; Mantle xenoliths, 1987; Геология и генезис..., 1989; Специус, Серенко, 1990; Буланова и др., 1993; Taylor, Anand, 2004].

С начала 1980-х годов в мировой научной литературе стали появляться публикации, описывающие минеральные включения в алмазах, относящиеся к глубинам переходной зоны (410–660 км) [Moore, Gurney, 1985; 1989; Stachel, 2001] и нижней мантии (>660 км) [Scott Smith et al., 1984; Harte et al., 1999; Stachel et al., 2000; Kaminsky et al., 2001; Kaminsky, 2012; Зедгенизов и др., 2016]. Количество таких находок все еще довольно незначительно, однако база данных по ультравысокобарным включениям в алмазах постоянно пополняется, так что сегодня данные по природным минеральным ассоциациям переходной зоны и нижней мантии можно достоверно использовать для реконструкции фазового и химического состава глубинных геосфер Земли [Kaminsky, 2017].

В настоящей работе приводится обзор сведений о включениях в природных алмазах, относящихся к различным мантийным горизонтам и анализируется соответствие этим данным существующих моделей состава мантии Земли.

Модели состава и строения мантии земли

Мантия Земли соответствует глубинам от 6–70 до 2900 км и отделяется от вышележащей коры так называемой границей Мохо – четкой сейсмическим разделом, имеющим, главным образом, петрохимическую природу (рис. 1). Для границы мантия/ядро скачки в скоростях распространения сейсмических волн и плотности также связаны с изменением химического состава субстрата. В отличие от этих резко

выраженных границ, изменение скоростей распространения сейсмических волн в пределах мантии Земли должно быть связано не столько с изменением химического состава пород, сколько с фазовыми превращениями и увеличением плотности отдельных минералов с глубиной.

Таблица 1. Минеральные парагенезисы природных алмазов, по данным [Соболев, 1983].

Парагенезис	Минералы	Главные особенности парагенезиса
Ультраосновной (перидотитовый) тип		
Гарцбургит-дуниты	Cr-Mg гранат ± оливин ± хромит (± энстатит ± сульфиды ± самородное Fe ± флогопит)	Хромистый пироп, бедный кальцием
Лерцолиты	Mg гранат + оливин + энстатит + клинопироксен (± ильменит ± хромит ± сульфиды ± флогопит)	Пироп умеренной кальциевости (4 – 6% CaO)
Магнезитовый Лерцолит	Mg гранат + оливин + энстатит + клинопироксен + магнезит	Высокохромистый диопсид, магнезит
Верлиты	Cr-Mg гранат + оливин + клинопироксен ± хромит	Хромистый пироп, богатый кальцием
Вебстерит-пироксениты	Mg гранат + клинопироксен (± энстатит)	Отсутствие оливина
Основной (эклогитовый) тип		
Эклогиты	Mg-Fe гранат + клинопироксен (± рутил ± санидин ± сульфиды ± самородное Fe)	Примесь натрия в гранате, примесь калия в пироксене
коэситовые	Mg-Fe гранат + клинопироксен + коэсит (± рутил ± сульфиды ± санидин)	Коэсит
ильменитовые	Mg-Fe гранат + ильменит (± клинопироксен)	Пикроильменит
кианитовые	Mg-Fe гранат + клинопироксен + кианит (± корунд ± рутил ± сульфиды)	Кианит
корундовые	Mg-Fe гранат + клинопироксен + корунд (± рутил ± кианит)	Корунд
Гроспидиты	Mg-Ca гранат + клинопироксен + кианит (± корунд ± рутил)	Кальцевый гранат (50% Ca-комп.) + кианит

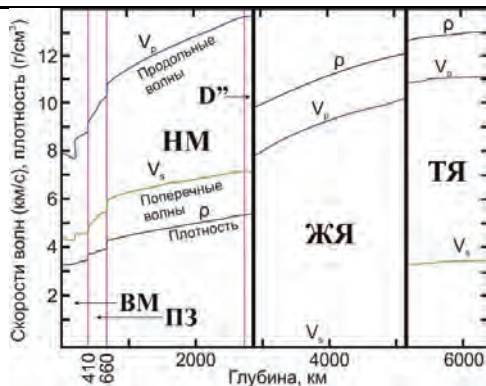


Рис. 1. Сейсмическая модель строения Земли (PREM – Preliminary reference Earth model), по [Dziewonski, Anderson, 1981]. Показаны изменения скоростей сейсмических волн и плотности в различных оболочках Земли. ВМ – верхняя мантия; ПЗ – переходная зона; НМ – нижняя мантия; ЖЯ – внешнее жидкое ядро; ТЯ – твердое внутреннее ядро.

В работах Э. Рингвуда [1981] была представлена так называемая *пиролитовая модель* состава мантии Земли, в основу которой были положены результаты изучения состава мантийных перидотитов различных регионов мира. Оказалось, что в целом большая часть этих пород имеет довольно однородный состав, соответствующий смеси базальта и гарцбургита в соотношении 1:3. Состав мантийного пиролита (мас. %: 45,1 SiO₂, 0,2 TiO₂, 4,3 Al₂O₃, 0,4 Cr₂O₃, 8,0 FeO, 0,1 MnO, 38,1 MgO, 0,2 NiO, 3,1 CaO, 0,4 Na₂O, 0,03 K₂O, 0,02 P₂O₅, сумма 99,95 [Рингвуд, 1981]) неоднократно уточнялся [Jagoutz et al., 1979; McDonough, Sun, 1995 и др.], однако все вносимые изменения были крайне незначительны, и классическая пиролитовая модель неплохо согласуется как с сейсмической моделью мантии Земли, так и с современными петрологическими данными. При этом следует отметить, что использованные при построении пиролитовой модели данные по мантийным перидотитам надежно характеризуют лишь верхний горизонт мантии Земли до глубины 150–200 км. Распространение пиролитовой модели на более глубокие области (переходную зону и нижнюю мантию) в некоторых работах подвергается сомнению, что привело к появлению альтернативных моделей состава отдельных частей мантии Земли. В частности, для переходной зоны была предложена «пиклогитовая» модель (мас. %: 47,0 SiO₂, 0,4 TiO₂, 8,6 Al₂O₃, 0,2 Cr₂O₃, 10,8 FeO, 0,1 MnO, 24,0 MgO, 0,1 NiO, 8,0 CaO, 1,0 Na₂O, 0,1 K₂O, сумма 100,3 [Anderson, Bass, 1986]), учитывающая наличие в этой области эклогитового «слоя» (мас. %: 50,45 SiO₂, 1,62 TiO₂, 15,26 Al₂O₃, 10,43 FeO, 0,17 MnO, 7,58 MgO, 11,30 CaO, 2,68 Na₂O, 0,11 K₂O, 0,15 P₂O₅, сумма 99,75 [Hofmann, 1988]), а для нижней мантии в целом ряде работ [Hart, Zindler, 1986; Anderson, 1989; Murakami et al., 2012; Kaminsky, 2012] рассматривается вариант с более высоким (относительно пиролита) содержанием кремнезема и железа.

В диапазоне глубин верхней мантии пиролит соответствует составу гранатового лерцолита и содержит 50–60% оливина, 20–25% орто- и клинопироксена и 20–25% граната (рис. 2). На глубине 410 км отмечается первая сейсмическая граница, соответствующая полиморфному переходу оливина (Mg,Fe)₂SiO₄ в более плотную модификацию шпинелеподобной структуры – вадслеит. Эта граница отвечает началу *переходной зоны* мантии Земли, которая простирается вплоть до 660 км. Другие минералы лерцолита также подвергаются изменениям: происходит постепенное исчезновение пироксенов, за счет которых образуется мейджоритовый компонент граната, и общая доля этого минерала возрастает до 40 об. %. При давлении, соответствующем глубине ~520 км (еще одна сейсмическая граница), вадслеит превращается в рингвудит, обладающий еще более плотной шпинелевой структурой.

Здесь же впервые происходит появление кальциевого силиката CaSiO_3 , имеющего структуру перовскита.

Граница *нижней мантии* (660 км) маркируется резким увеличением скоростей распространения сейсмических волн, что связано с реакцией разложения рингвудита на бриджманит – $(\text{Mg,Fe})\text{SiO}_3$ со структурой перовскита и ферропериклаз (магнезиовюстит) $(\text{Mg,Fe})\text{O}$. Характерно, что ассоциация этих двух минералов возможна исключительно в условиях нижней мантии, тогда как в поле стабильности оливина или его полиморфных модификаций такой парагенезис считается *запрещенным*. Другой важнейший минерал переходной зоны – мэйджоритовый гранат – также практически исчезает при переходе к условиям нижней мантии, и лишь присутствие примесных компонентов (например, натрия) может стабилизировать гранат в условия больших глубин. Разложение мэйджоритового граната приводит к образованию двух фаз перовскитовой структуры – MgSiO_3 (бриджманита) и CaSiO_3 , способных включать в свой состав довольно высокие концентрации алюминия и других примесных элементов. Согласно пиролитовой модели, нижняя мантия состоит из 78–80% бриджманита, 15–16% ферропериклаза и 5–6% CaSiO_3 -перовскита [Wood, 2000] (рис. 2).

На границе между нижней мантией и ядром выделяют так называемый *слой D''*. Для него характерна переменная мощность (до 200 км) и несколько пониженные (по сравнению с нижней мантией) скорости сейсмических волн. Предполагается, что слой D'' обогащен железом за счет постоянного взаимодействия силикатного вещества нижней мантии с металлическим ядром. По экспериментальным и расчетным оценкам, в этом слое преобладает постперовскитовая фаза, являющаяся полиморфной модификацией $(\text{Mg,Fe})\text{SiO}_3$ -перовскита.

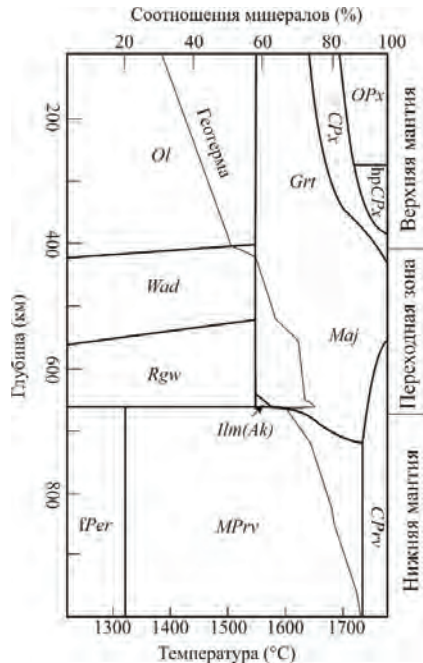


Рис. 2. Схема, иллюстрирующая изменение фазовых ассоциаций на различных глубинах мантии Земли, по данным [Harte, 2010; Stixrude, Lithgow-Bertelloni, 2007; Perrillat et al., 2006]; мантийная геотерма показана с учетом данных [Stixrude, Lithgow-Bertelloni, 2007]. Обозначения минералов: *Ol* – оливин; *Opx* – ортопироксен; *Cpx* – клинопироксен; *Grt* – гранат; *Wad* – вадслент; *Rgw* – рингвудит; *Maj* – мэйджоритовый гранат; *Ilm(Ak)* – MgSiO_3 со структурой ильменита (акимотоит); *fPer* – ферропериклаз (магнезиовюстит); *MPrv* – MgSiO_3 со структурой перовскита (бриджманит); *CPrv* – CaSiO_3 со структурой перовскита.

Минералы верхней мантии

Парагенетические ассоциации верхнемантийных минералов, характеризующиеся едиными условиями образования с алмазом, впервые были изучены и выделены Г. Мейером [Meyer, Boyd, 1968] и Н.В. Соболевым с соавторами [1969]. Среди минералов, образующих включения в алмазе были выделены (1) перидотитовая (ультраосновная, Р-тип) и эклогитовая (основная, Е-тип) ассоциации. В дополнение к двум главным типам позднее Н.В. Соболевым [1974] был выделен промежуточный пироксенитовый (вебстеритовый, W-тип) парагенезис включений. Установлено, что по химическому составу выделенные парагенезисы соответствуют трем типам глубинных пород: пироповым перидотитам (ультраосновная ассоциация), гранатовым пироксенитам (промежуточная ассоциация) и эклогитам (основная ассоциация). Для этих разновидностей пород характерны следующие вариации составов (в мас. %): пироповые перидотиты – $\text{SiO}_2 = 38\text{--}45$, $\text{TiO}_2 \leq 0,4$, $\text{Al}_2\text{O}_3 < 4$, $\Sigma\text{FeO} \leq 9$, $\text{MgO} \geq 30$, $\text{CaO} < 1$, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} \leq 1$; гранатовые пироксениты – $\text{SiO}_2 = 42\text{--}50$, $\text{Al}_2\text{O}_3 \leq 12$, $\Sigma\text{FeO} \geq 10$, $\text{MgO} = 10\text{--}30$, которые подразделяются на бедные CaO ($< 7,5$) и богатые CaO ($7,5\text{--}20$); и эклогиты – $\text{SiO}_2 \geq 45$, $\text{TiO}_2 \leq 0,7$, $\text{MgO} \leq 10$, $\text{CaO} = 8\text{--}20$ [Глубинные ксенолиты ..., 1975].

Обобщение известных парагенезисов верхнемантийных алмазов, сделанное Н.В. Соболевым [1983] и дополненное Г.П. Булановой с соавторами [1993], представлено в таблице 1.

Среди сингенетических включений в алмазах *ультраосновной ассоциации* выделяют оливин, хромсодержащий магнезиальный гранат, иногда с высоким содержанием кальциевого компонента, сульфиды (пентландит, моносulfидный твердый раствор на основе пентландита Mss_{Ni}), клинопироксен с низкой железистостью и примесью хрома, энстатит и хромит; гораздо менее распространены пикроильменит, циркон, флогопит, самородное железо и титанаты сложного состава; проблематично к ультраосновному парагенезису относят также муассанит и апатит [Соболев, 1974; Харьков, 1978; Лазько, 1979; Доусон, 1983; Haggerty, 1991; Буланова и др., 1993 и др.]. В обобщенном виде порядок распространенности включений ультраосновной ассоциации в якутских алмазах выглядит следующим образом [Буланова и др., 1993]: сульфиды > хромиты > оливины (+энстатит) > хромистые пиропы > клинопироксены > ильменит. Представительные составы наиболее распространенных включений в природных алмазах приведены в таблице 2.

Оливин из алмазов различных месторождений мира характеризуется близким составом: 91–95 мол.% форстеритового компонента Mg_2SiO_4 и незначительными примесями кальция (0,02–0,03 мас.% CaO), никеля (0,25–0,35 мас.% NiO), а также хрома (0,05–0,18 мас.% Cr_2O_3), входящего в структуру минерала, по-видимому, в виде компонента $\text{Cr}_2+2\text{SiO}_4$, что отражает восстановительный характер условий образования таких алмазов с включениями оливина [Соболев, 1974; Соболев и др., 1983].

Гранат ультраосновного парагенезиса представлен магнезиальной разностью с переменными содержаниями примеси хрома [Соболев и др., 1969], что отличает его от магнезиально-железистого (пироп-альмандинового) граната эклогитового типа (рис. 3). Среди пироповых включений выделяются разности с высоким содержанием Cr_2O_3 (более 5 мас. %) (с повышенным содержанием кноррингитовой составляющей $\text{Mg}_3\text{Cr}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$) и низким CaO . Эти субкальциевые гранаты гарцбургит-дунитового парагенезиса составляют большинство среди магнезиальных пиропов, включенных в алмазы из разных месторождений земного шара [Соболев, 1983]. Как было показано Н.В. Соболевым [1974], выделяются также две дополнительные ассоциации, гораздо менее распространенные по сравнению с дунит-гарцбургитовой, представленные хромовыми пиропами, богатыми кальцием (верлитовая ассоциация), и пиропы с пониженным содержанием Cr_2O_3 и промежуточным (4–5 мас.%) CaO (лерцолитовая ассоциация). Соотношения содержаний Cr_2O_3 и CaO в пиробах, включенных в алмаз перидотитового

парагенезиса, показаны на рис. 4. Ассоциирующие с гранатом минералы также характеризуются спецификой состава: например, оливины гарцбургитового парагенезиса имеют магнезиальность 94%, в то время как магнезиальность оливина лерцолитовой ассоциации не превышает 92% [Taylor, Anand, 2004].

Клинопироксены перидотитовой ассоциации отличаются повышенным содержанием СаО, субкальциевые занимают подчиненное положение. Они относятся к диопсидам с переменными содержаниями клиноэнстатитового ($\text{Ca}/(\text{Ca}+\text{Mg})$ от 44 до 50%), жадеитового и юриитового $\text{NaCrSi}_2\text{O}_6$ (до 15 мол.%) компонентов (в сумме до 60 мол.%), а также чермакитового $(\text{Ca},\text{Mg})\text{Al}_2\text{SiO}_6$ компонента, отражающего роль алюминия в четверной координации [Соболев, 1974; Буланова и др., 1993; Афанасьев и др., 2001]. Важной особенностью клинопироксенов является наличие среди них зерен с заметной примесью K_2O (0,1–0,4 мас.%). Магнезиальность этих минералов находится в пределах 92–94% [Буланова и др., 1993].

Таблица 2. Представительные анализы кристаллических включений в алмазах перидотитового и эклогитового типов из кимберлитовых трубок Якутии.

Компонент	Ультраосновной парагенезис					Эклогитовый парагенезис	
	Ol	Grт(1)	Cpx(1)	Opx	Chr	Grт(2)	Cpx(2)
SiO ₂	41,40	41,00	55,40	59,30	0,07	40,00	54,80
TiO ₂	0,00	0,46	0,07	0,15	0,19	0,46	0,48
Al ₂ O ₃	0,02	16,20	1,75	0,65	4,82	22,00	9,79
Cr ₂ O ₃	0,06	8,00	1,65	0,11	65,20	0,04	0,05
FeO	6,00	4,66	1,36	4,22	18,13	20,90	4,94
MnO	0,11	0,30	0,03	0,09	0,32	0,52	0,07
MgO	52,90	15,20	16,60	36,00	12,00	9,02	8,97
CaO	0,04	13,50	21,40	0,32	0,00	8,18	13,10
Na ₂ O	–	–	1,40	0,17	–	0,17	6,70
K ₂ O	–	–	0,15	–	–	–	0,30
Сумма	100,89	99,32	99,81	101,01		101,29	99,20
Формульные единицы, рассчитанные на данное количество атомов О							
O	4	12	6	6	4	12	6
Si	0,991	3,031	1,999	2,000	0,002	3,001	1,981
Ti	0,000	0,026	0,002	0,004	0,005	0,027	0,013
Al	0,000	1,413	0,074	0,026	0,189	1,947	0,417
Cr	0,001	0,470	0,048	0,003	1,703	0,002	0,001
Fe ³⁺	–	0,091	–	–	0,091	0,024	0,071
Fe ²⁺	0,121	0,198	0,041	0,119	0,404	1,287	0,079
Mn	0,002	0,018	0,001	0,003	0,009	0,032	0,002
Mg	1,887	1,676	0,893	1,810	0,592	1,005	0,482
Ca	0,001	1,071	0,828	0,012	0,000	0,658	0,508
Na	–	–	0,100	0,011	–	0,027	0,469
K	–	–	0,007	–	–	–	0,014
Сумма	3,009	7,994	3,992	3,988	2,995	8,010	4,037

Примечание. Ol, Grт(1), Cpx(1) – обр. 57/9, тр. Удачная; Opx – обр. АВ-34, тр. Мир; Chr – обр. БМ-11, тр. Мир [Соболев, 1974]; Grт(2), Cpx(2) – обр. М-46, тр. Мир [В.С. Соболев и др., 1972]. В Ol обнаружено 0,34 мас.% NiO.

Ортопироксены относятся к энстатитам и имеют обычно низкие суммарные примеси трехвалентных катионов – алюминия и хрома (их суммарное содержание обычно не превышает 1 мас.%). В энстатите присутствует примесь диопсидового компонента ($\text{Ca}/(\text{Ca}+\text{Mg})$ от 0,4 до 2,0%), а также Na_2O (до 0,4 мас.%), который входит в структуру энстатита, по-видимому, в комбинации с трехвалентными катионами в виде NaR^{3+} [Соболев, 1974]. Магнезиальность большинства энстатитов находится в пределах 94–96% [Harris, 1992].

Хромитовые включения характеризуются высоким содержанием Cr_2O_3 (более 62 мас.%), наряду с пониженным содержанием Al_2O_3 (до 1 мас. %) и TiO_2 (обычно менее 1%). Для включений пикроильменита в алмазе характерны широкие вариации содержаний MgO (6,15–18,0 мас.%), повышенные концентрации TiO_2 (свыше 51 мас.%) и отсутствие окисного железа, что является их типоморфным признаком и отличает от ильменитов кимберлитовых пород [Соболев, 1974].

Роль щелочных и флюидных компонентов в алмазообразовании подчеркивается редкими находками включений флогопита в алмазе. Детальные исследования состава флогопита, ассоциирующего с алмазом, позволили выделить для него дунит-гарцбургитовый и лерцолитовый парагенезисы в пределах единого перидотитового [Соболев и др., 1988]. Флогопит дунит-гарцбургитовой ассоциации является высокохромистым (1,5–2,5 мас.% Cr_2O_3) и низкотитанистым (0,1–0,4 мас.% TiO_2), а для флогопита лерцолитовой ассоциации, наоборот, устанавливаются пониженные содержания хрома (0,15–0,5 мас.% Cr_2O_3) и повышенные – титана (1,3–3,5 мас.% TiO_2). Для флогопитов характерна высокая магнезиальность (92,4–95,2%) и широкие вариации содержаний F и Cl, достигающие 1,29 и 0,49 мас.%, соответственно [Соболев и др., 2008].

Среди включений минералов *эклогитовой ассоциации* наиболее распространены низкохромистый пироп-гроссуляр-альмандиновый гранат, омфацит и сульфиды (пирротин, халькопирит, моносulfидный твердый раствор на основе пирротина MssFe), более редки кианит, рутил, корунд, коэсит, ильменит, калиевый полевой шпат, самородное железо и циркон [Соболев, 1974; Gurney, 1989; Буланова и др., 1993; Taylor, Anand, 2004 и др.].

Пироп-альмандиновые гранаты *эклогитового парагенезиса* характеризуются отсутствием примеси хрома, переменной железистостью (24–54%), в отдельных случаях достигающей 60–65%, и существенной долей кальциевого компонента в основном в пределах 10–40 мол. % (рис. 3, рис. 4). В общем, гранаты *эклогитового* типа оказываются значительно богаче кальцием и железом по сравнению с перидотитовыми гранатами. На рис. 3 представлена схема подразделения *эклогитов* на группы (А–С) в зависимости от состава граната, впервые примененная в работе [Coleman et al., 1965] и впоследствии усовершенствованная Л. Тэйлором и К.Нилом [Taylor, Neal., 1989]. Следует отметить переменные содержания окисного железа (0,09–1,68 мас.% Fe_2O_3), а также повышенные концентрации титана (0,83–1,25 мас.% TiO_2) и натрия (0,26–0,35 мас.% Na_2O) в гранатах *эклогитового* типа.

Пироксены, включенные в алмазы *эклогитового парагенезиса*, представлены омфацитом. Известно, что пироксены этого типа в целом характеризуются повышенным содержанием натрия, резким преобладанием Al^{VI} над Al^{IV} и железистостью в пределах 10–32% [Соболев, 1974]. Наряду с диопсидовой и геденбергитовой составляющими их составы описываются вариациями содержаний жадеитового $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$ (до 45–50 мол.%) и чермакитового $\text{CaAl}_2\text{SiO}_6$ (обычно не выше 20 мол.%) компонентов. По содержаниям MgO и Na_2O пироксены разделяются на три группы (А–С на рис. 6), что находится в соответствии с классификацией гранатов *эклогитовой ассоциации* (см. рис. 5) и общим подразделением *эклогитов* [Taylor, Neal, 1989]. Согласно этой классификации, к группе А относятся *эклогиты*, переходные к пироксенитам, в которых пироксены имеют самые

низкие содержания Na_2O , а гранаты наиболее богаты пиропом. Для пироксенов группы С, наоборот, характерны высокие содержания Na_2O и низкие – MgO .

К числу относительно редких включений в алмазах эклогитового типа относятся коэзит, рутил и кианит. Известны единичные находки включений калиевого полевого шпата, корунда, биотита, мусковита, ставролита, карбоната и ильменита [Гаранин и др., 1991; Буланова и др., 1993; Taylor, Anand, 2004]. В некоторых случаях сингенетическая природа этих включений вызывает сомнение.

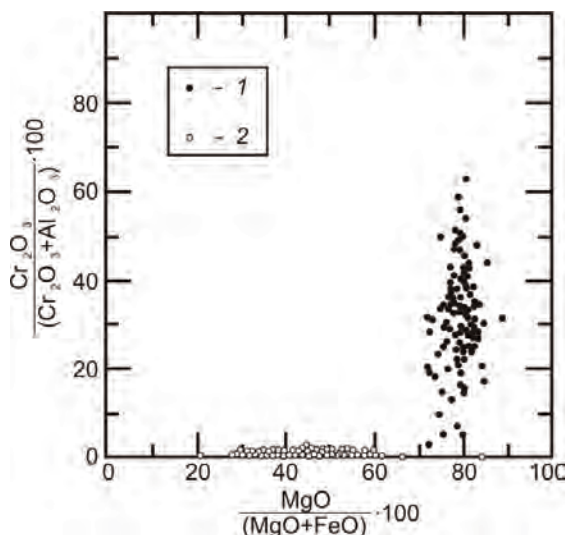


Рис. 3. Сопоставление составов гранатов, включенных в алмазы перidotитового (1) и эклогитового (2) типов, с использованием данных [Meyer, 1987].

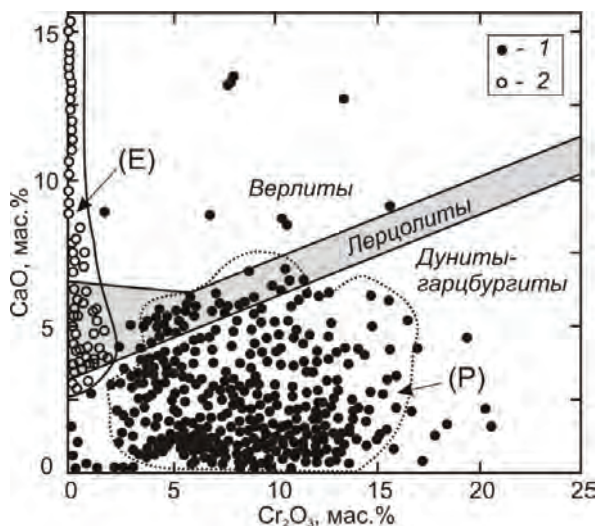


Рис. 4. Подразделение гранатов ультраосновной ассоциации (1) на дунит-гарцбургитовый, лерцолитовый и верлитовый типы в сопоставлении с составами гранатов эклогитовой ассоциации (2), с использованием данных [Соболев, 1974; Meyer, 1987; Гаранин и др., 1991; Буланова и др., 1993; Taylor, Anand, 2004]. Оконтурены поля составов гранатов в алмазах ультраосновного (P) и эклогитового (E) типов в различных месторождениях мира, по [Griffin et al., 1993].

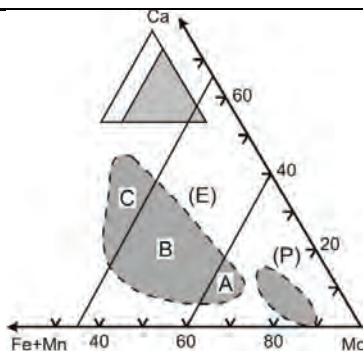


Рис. 5. Разделение эклогитов на А, В и С типы на основе состава граната, по [Coleman et al., 1965; Taylor, Neal, 1989]. Оконтурены поля составов гранатов из включений в алмазах эклогитового (Е) и перидотитового (Р) типов из кимберлитов Якутии, по [Taylor, Anand, 2004].

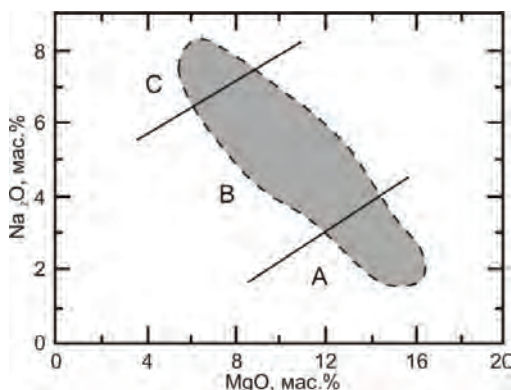


Рис. 6. Диаграмма MgO–Na₂O, иллюстрирующая разделение пироксенов эклогитовой ассоциации на А, В и С типы, по [Taylor, Neal, 1989]. Оконтурено поле составов пироксенов, включенных в алмазы из кимберлитовой трубки Удачная [Taylor, Anand, 2004].

В некоторых случаях в одном кристалле алмаза наблюдаются включения разных минералов. При этом были обнаружены следующие минеральные ассоциации [Соболев, 1974; 1983; Буланова и др., 1993]: хромистый пироп + хромит + оливин; оливин + энстатит; оливин + хромит; оливин + сульфиды; оливин + гранат + клинопироксен + энстатит; коэсит + сульфиды и др. Иногда в одном монокристалле встречаются включения, представленные сростками двух минералов, что в целом представляет большую редкость. В виде сростков в алмазе были установлены такие пары минералов: омфакит + сульфид; оливин + сульфид; хромит + гранат; хромит + оливин; хромит + энстатит; оливин + гранат; коэсит + сульфид и др. В двух якутских алмазах были идентифицированы трехминеральные сростки: энстатит + клинопироксен + магнезит и оливин + флогопит + сульфид [Буланова и др., 1993]. Такого рода находками подтверждается соответствие минеральных ассоциаций алмаза мантийным ксенолитам пироповых перидотитов, пироксенитов и эклогитов. Кроме того, описанные сочетания включений позволяют проводить более детальное подразделение парагенезисов алмаза (см. таблицу 1) и оценивать *P-T* параметры алмазообразования.

Относительная распространенность главных минералов-включений в алмазах в большинстве случаев соответствует их роли в ксенолитах алмазоносных пород. Это, в первую очередь, относится к оливину, пироксенам, гранатам. В целом минералы ультраосновного парагенезиса резко преобладают над эклогитовой ассоциацией в виде

включений в кристаллах алмаза. За редкими исключениями (например, трубка Обнаженная в Якутии) доля мантийных ксенолитов пироповых перидотитов оказывается выше в 10–15 раз по сравнению с эклогитовыми нодулями. Как было указано выше, эти наблюдения лежат в основе представлений о соответствии состава верхней мантии гранатовым лерцолитам. Согласно современным представлениям [например, Taylor, Anand, 2004], эклогиты, присутствующие в мантии в незначительном количестве, не входят в состав исходной (примитивной) мантии, а являются продуктами переработки (метаморфизма) базальтовых пород океанической коры (MORB), погруженных в мантию Земли на различные глубины. Как следует из фазовой диаграммы (рис. 7), в условиях верхней мантии преобразование MORB в условиях верхней мантии приводит к возникновению биминеральных ассоциаций (пироп-гроссуляр-альмандиновый гранат + омфацит), в которых прочие фазы играют крайне подчиненное значение.

В то же время в ряде месторождений среди включений в алмазе наблюдается значительное увеличение распространенности минералов, являющихся обычно примесными в мантийных ксенолитах. Так, в некоторых трубках доля хромита составляет от 30 до 50% и более от всех включенных в алмазы минералов [Соболев, 1974]. Аномально повышена также может быть и роль включений сульфидов в алмазах, совершенно не соответствующая их распространенности в ксенолитах [Буланова и др., 1993]. Широкая распространенность сульфидов среди минералов алмазной ассоциации породила модель, согласно которой сульфидные расплавы могут играть важную роль в природном алмазообразовании.

Кроме того, Г.П. Булановой с соавторами [1993] была выделена группа так называемых *центральных* включений, представленных троилитом и пирротинном, а также более сложными ассоциациями: троилит + самородное железо (без существенных элементов-примесей, в том числе Ni) + алмаз; пирротин + вюстит + алмаз; вюстит + SiO_2 + алмаз; пирротин + омфацит + алмаз. В работе [Гаранин, Кудрявцева, 2006] отмечается сходство этой минеральной ассоциации с парагенезисом алмаз + вюстит + троилит, иногда называемым парагенезисом железных метеоритов. Некоторыми исследователями [Буланова и др., 1993] минеральные включения рассмотренного типа относятся к ранней стадии алмазного зародышеобразования, для которой характерна также ведущая роль самородного железа (иногда с примесью никеля).

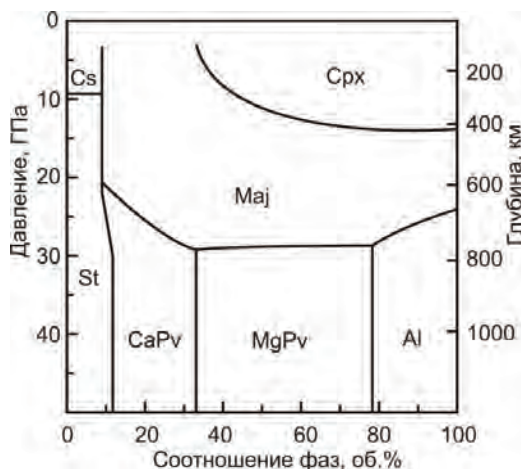


Рис. 7. Схема, иллюстрирующая изменение фазовых ассоциаций MORB с давлением, по данным [Ringwood, 1991]. Обозначения минералов: Cpx – клинопироксен; Cs – коэсит; Maj – мэйджоритовый гранат; St – стишовит; MgPrv – MgSiO_3 со структурой перовскита (бриджманин); CaPrv – CaSiO_3 со структурой перовскита; Al – богатые алюминием фазы.

Минералы переходной зоны и нижней мантии

В течение последних десятилетий в алмазах были обнаружены ультравысокобарные минералы, к числу которых относятся MgSiO_3 со структурами предположительно ильменитового (Mg-Il) и перовскитового (Mg-Pv) типов, CaSiO_3 со структурой перовскита (Ca-Pv), магнезиовюстит (ферропериклаз, fPer) и мэйджоритовый гранат (Maj) (таблица 3) [Moore, Gurney, 1989; Harte et al., 1999; Stachel et al., 2000; Stachel, 2001]. Это значительно расширило контуры возможных условий природного алмазообразования в область глубин переходной зоны [Moore, Gurney, 1985; 1989; Stachel, 2001] и нижней мантии [Scott Smith et al., 1984; Stachel et al., 2000; Kaminsky et al., 2001]. Тем не менее, монокристалльная рентгеновская дифракция включений в таких глубинных алмазах [Harte et al., 1999; Stachel et al., 2000; Kaminsky et al., 2001] показала, что стабильность полиморфных модификаций высокого давления ограничивается изохимическими фазовыми переходами. Предполагаемый первичный стишовит присутствует в виде коэсита, исходные рингвудит и вадслеит перешли в α -оливин, а фаза состава MgSiO_3 имеет ромбическую симметрию. Все эти наблюдения свидетельствуют о медленных скоростях подъема мантийного вещества по сравнению со скоростями изохимических фазовых переходов.

Из всех перечисленных минералов только мэйджоритовый гранат способен сохранять свои структурные особенности в условиях снижения давления. Состав этого минерала является индикатором термодинамических параметров его образования, и в первую очередь, давления [Akaogi, Akimoto, 1977] (рис. 8), чем обусловлен значительный интерес к нему со стороны петрологов и экспериментаторов. По сути, мэйджоритовый гранат со значительным избытком кремния является единственным надежным индикатором условий переходной зоны Земли.

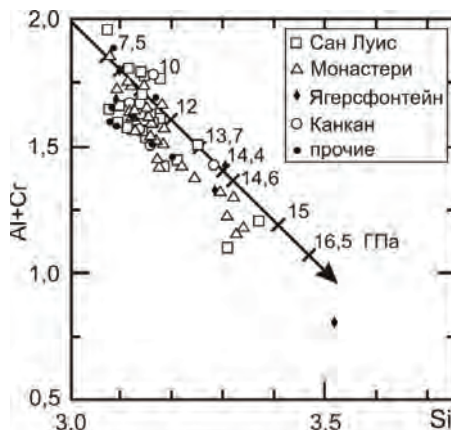


Рис. 8. Диаграмма Si – Al+Cr состава мэйджоритовых гранатов из включений в алмазах, по данным [Stachel, 2001]. Оценки давлений (ГПа) проведены по экспериментальным результатам [Akaogi, Akimoto, 1979; Irifune, 1987].

Впервые мэйджоритовый гранат в виде включения в алмазе был описан Р. Муром и Дж. Герни [Moore, Gurney, 1985] в трубке Монастери (Южная Африка), и эта находка показала, что алмазы могут содержать вещество астеносферы и переходной зоны. За последние 20 лет мэйджоритовые гранаты в виде кристаллических включений в алмазах были обнаружены по всему миру, включая Южную Африку [Moore, Gurney, 1985; Stachel, 2001], Бразилию [Harte, Cayzer, 2007], Гвинею [Stachel, 2001], Россию [Соболев и др., 1997], Китай [Wang et al., 2000] и Канаду [Davies et al., 2004; Pokhilenko et al., 2004].

Таблица 3. Ультравысокобарные минеральные парагенезисы в алмазах различных регионов мира.

Минеральная ассоциация	Место находки	Ссылка
fPer+MgSiO ₃	Ороро (Ю. Австралия)	[Scott Smith et al., 1984]
fPer+MgSiO ₃	Коффонтейн (ЮАР)	[Scott Smith et al., 1984]
fPer+MgSiO ₃ +CaSiO ₃ +TAPP	Сан Луис (Бразилия)	[Harte, Harris, 1994]
fPer+MgSiO ₃ +CaSiO ₃ +TAPP	Джуина (Бразилия)	[Hayman et al., 2005]
fPer+MgSiO ₃ +CaSiO ₃ +SiO ₂	Канкан (Гвинея)	[Stachel et al., 2000]
Maj, MgSiO ₃ +fPer	Кратон Слэйв (Канада)	[Davies et al., 1999; 2004]
Maj+Omp	Кратон Слэйв (Канада)	[Pokhilenko et al., 2004]
Maj+Omp	Монастери (ЮАР)	[Moore, Gurney, 1985]
Maj+Omp	Сан Луис (Бразилия)	[Harte, Cayzer, 2007]
Maj	Китай	[Wang et al., 2000]
Maj	Ягерсфонтейн (ЮАР)	[Deines et al., 1991]
Maj	Хелам (ЮАР)	[Mc Kenna et al., 2004]
Maj	Бразилия	[Hutchison, 1997]
Maj	Архангельская провинция	[Соболев и др., 1997]
Maj	Якутия	[Sobolev et al., 2004]

Мэйджоритовый гранат главным образом характерен для эклогитового парагенезиса, хотя иногда наблюдается и в перидотитовой ассоциации. Сосуществующий пироксен (обычно омфациит) также преимущественно отвечает биминеральным эклогитам, что свидетельствует об эклогитовом источнике большинства алмазов, образовавшихся в наиболее глубинных частях верхней мантии и переходной зоне [Stachel, 2001; Gasparik, 2002]. Согласно геофизическим данным, именно здесь накапливается вещество замедляющих свое погружение субдукционных плит, и поэтому в составе субдуцированного материала наблюдается резкое преобладание эклогитов, с глубиной сменяющихся гранатитами (рис. 7). В работе [Anderson, Bass, 1986] впервые предполагалось различие валового химического состава верхней мантии и переходной зоны, гипотетическая порода этой области была названа *пиклогитом* (пикритовым эклогитом). Впоследствии наличие эклогитового «слоя» в пределах переходной зоны обсуждалось как экспериментаторами [Gasparik, 2002], так и петрологами [Taylor, Anand, 2004].

Остановимся на главных особенностях химического состава природных мэйджоритовых грантов (рис. 8, таблица 4).

Мэйджоритовые гранаты перидотитового парагенезиса (U-type) достаточно редки и характеризуются низким содержанием Fe и Ca и относительно высоким, а иногда даже очень высоким содержанием Cr [Stachel, 2001]. Наиболее богатый мэйджоритовым компонентом (Si = 3,175 ф.е.) гранат этого типа был обнаружен в виде включения в алмазе (Po-99) из трубки Поморская Архангельской кимберлитовой провинции [Соболев и др., 1997]; чуть более низкое содержание мэйджоритового компонента (Si = 3,075 ф.е.) было выявлено в гранате из включения в бразильском алмазе (BZ237C) провинции Сан Луис [Wilding, 1990]. Для гранатов U-типа примесь Na не характерна. В эклогитовом парагенезисе (E-type) доля мэйджоритовых гранатов, в которых содержание кремния превышает 3,07 ф.е., оказалась довольно высока. Самыми богатыми мэйджоритом гранатами на сегодняшний день можно считать включения в алмазе (HM009) из кимберлитовых даек южно-африканского месторождения Хелам Майн [Mc Kenna et al., 2004], для которых содержания Si составили 3,508–3,534 ф.е. Концентрация Na в этих гранатах достигает 0,143 ф.е. (около 1 мас. % Na₂O), содержания Ti достаточно малы – около 0,03 ф.е. Наконец, в мэйджоритовом гранате из кимберлитовой трубки Монастери

(Южная Африка) [Moore, Gurney, 1985] содержание Si составляет 3,429 ф.е. при очень низком и нехарактерном для гранатов содержании Al (1,27–1,61 ф.е.). Содержание хрома, с которым можно было бы связать такое малое количество алюминия, также весьма незначительно (0,005 ф.е.). Концентрации натрия в этом минерале достигают очень высоких значений – 0,158 ф.е. (1,08 мас. % Na₂O), а доля Ti составляет всего 0,05 ф.е. Высокое содержание натрия в мейджоритовых гранатах является дополнительным признаком их принадлежности к эклогитовому парагенезису.

В настоящее время большинство исследователей считают, что вся нижняя мантия в основном состоит из перовскитоподобной фазы (Mg,Fe)SiO₃, на долю которой приходится около 70% ее объема (40% объема всей Земли), и магнезиевюститита (Mg,Fe)O (~20 %). Оставшиеся 10% составляют стিশовит и оксидные фазы, содержащие Ca, Na, K, Al и Fe и имеющие структуры типа ильменита-корунда (твердый раствор (Mg,Fe)SiO₃–Al₂O₃), кубического перовскита (CaSiO₃) и фазы со структурой Са-феррита (NaAlSiO₄) [Пушаровский, Пушаровский, 2010]. Эти рассуждения, главным образом, основанные на результатах многочисленных экспериментов, позволили установить нижнемантийную природу для целого ряда алмазов, несмотря на отсутствие прямой минералогической (структурной) информации о содержащихся в них включениях.

Таблица 4. Представительные анализы природных мейджоритовых гранатов.

Образец	1 (U)	2 (E)	3 (E)	4 (E)	5 (E)	6 (E)	7 (E)	8 (E)
SiO ₂	44,90	43,45	45,43	41,30	41,14	41,30	42,30	42,20
TiO	0,71	1,15	0,81	0,25	1,93	1,90	1,99	1,28
Al ₂ O ₃	16,60	16,30	14,82	22,40	17,82	18,00	17,82	19,50
Cr ₂ O ₃	1,23	0,06	0,06	0,25	0,14	0,05	0,08	0,07
FeO	8,65	12,99	9,77	13,80	15,75	16,00	12,12	14,49
MnO	0,21	0,27	0,29	0,30	0,29	0,29	0,24	0,31
MgO	23,50	13,48	18,20	15,80	12,39	8,82	10,33	9,54
CaO	3,77	11,93	9,27	5,04	9,57	12,20	14,08	10,66
Na ₂ O	0,25	0,64	0,58	0,22	0,75	0,93	1,15	1,54
Сумма	99,82	100,27	99,23	99,36	99,81	99,70	100,11	99,65
Формульные единицы, рассчитанные на 12 атомов О								
Si	3,200	3,217	3,317	3,026	3,090	3,132	3,151	3,157
Ti	0,038	0,064	0,044	0,014	0,109	0,108	0,111	0,072
Al	1,394	1,422	1,275	1,934	1,577	1,609	1,564	1,719
Cr	0,069	0,004	0,003	0,014	0,008	0,003	0,005	0,004
Fe	0,515	0,804	0,596	0,845	0,989	1,014	0,755	0,906
Mn	0,013	0,017	0,018	0,019	0,018	0,019	0,015	0,020
Mg	2,495	1,487	1,979	1,724	1,386	0,996	1,146	1,063
Ca	0,288	0,946	0,725	0,395	0,770	0,991	1,123	0,854
Na	0,016	0,092	0,082	0,031	0,109	0,137	0,166	0,223
Сумма	8,047	8,052	8,040	8,002	8,058	8,009	8,036	8,018
Миналы								
NaTi	1,8	2,9	2,0	0,7	5,1	4,9	5,0	3,2
NaGrt	0,0	1,3	1,7	0,7	0,0	1,3	2,5	6,7
Maj	4,7	4,6	6,7	0,4	2,1	2,7	2,8	1,8

Примечания. Включения гранатов эклогитового (E) и перидотитового (U) парагенезиса: 1 – Po-99 [Соболев и др., 1997]; 2 – B9-17 [Moore, Gurney, 1985]; 3 – A1-20 [Moore, Gurney, 1985]; 4 – D-35 [N.V. Sobolev et al., 1999]; 5 – MW52-77 [Stachel et al., 1999]; 6 – Km88/23 [Sobolev et al., 2004]; 7 – bz22-1 [Wilding, 1990]; 8 – 105(A) [Davies et al., 2004]. NaTi – Na₂(Mg,Ca,Fe)Ti₂Si₃O₁₂; NaGrt – Na₂MgSi₅O₁₂; Maj – Mg₄Si₄O₁₂.

В обзорной работе [Kaminsky, 2012] среди включений в алмазах, предположительно нижнемантийной природы можно выделить три ассоциации: (1) ультраосновную, в определенной степени аналогичную ультраосновному парагенезису верхней мантии; (2) аналог эклогитовой ассоциации верхней мантии; (3) карбонатитовую ассоциацию. Количественные соотношения этих ассоциаций неизвестны, однако можно предположить преобладание ультраосновного парагенезиса.

Бриджманит является главным минералом ультраосновной ассоциации нижней мантии. Он не стабилен во времени и при снижении давления претерпевает ретроградную трансформацию в структуру пироксенового типа. Новообразованная фаза наследует химический состав бриджманита и, что важно, высокое содержание алюминия. Верхнемантийный энстатит обычно содержит 0.3–0.9 мас. % Al_2O_3 и никогда – не выше 1 мас.%, чем зачастую характеризуется бриджманит (максимальное содержание алюминия, которое было зафиксировано в бриджманите из включений в алмазах – 12.6 мас.%) [Kaminsky, 2012]. По высокому содержанию алюминия, а также по ассоциации с ферропериклазом Mg-Si перовскит отделяют от обычного энстатита, доказывая его нижнемантийное происхождение.

Во включениях в алмазах бриджманит ассоциирует с рингвудитом, CaSi-перовскитом, тетрагональной фазой альмандин-пиропового состава (TAPP), Cr-шпинелью, самородным никелем и сульфидами. Особое значение имеет ассоциация бриджманита с ферропериклазом, так как она однозначно характеризует термодинамические условия нижней мантии, а в условиях переходной зоны и верхней мантии парагенезис фаз аналогичного состава $(\text{Mg,Fe})\text{SiO}_3 + (\text{Mg,Fe})\text{O}$ считается «запрещенным» и уступает место $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$ (оливин/вадслеиту/рингвудиту).

Бриджманит из природных включений характеризуется достаточно постоянными показателями магнезиальности: от 0.88 до 0.95 [Harte et al., 1999]. Эти составы несколько расходятся с экспериментальными данными, из которых следует более низкая магнезиальность бриджманита: 0.80–0.88 [Fei et al., 1996; Lee et al., 2004]. Подобные различия могут быть связаны, в первую очередь, с нестабильностью железистого бриджманита и его распадом на ферропериклаз и SiO_2 . Вариации магнезиальности также могут быть связаны с содержанием Al в MgSi-перовските поскольку повышение содержания этого элемента вызывает увеличение доли трехвалентного железа в бриджманите [McCammon, 1997]. Экспериментальные работы показали, что в то время как увеличение Al в MgSiPv приводит к увеличению доли Fe^{3+} в этом минерале, оно не оказывает заметного влияния на распределение Fe^{2+} между бриджманитом и ферропериклазом [Frost, Langenhorst, 2002].

Ферропериклаз во включениях ассоциирует с рингвудитом, бриджманитом, CaSi-перовскитом, TAPP (тетрагональной фазой альмандин-пиропового состава), $(\text{Mg,Fe})(\text{Cr,Al})_2\text{O}_4$, стишовитом и самородным никелем.

Ферропериклаз является самым распространенным минералом ультрамафической ассоциации [Kaminsky, 2012] в природных образцах из включений. Он составляет в некоторых случаях 50–56% объема всех нижнемантийных включений. Ферропериклаз характеризуется широким разбросом значений магнезиальности от 0.36 до 0.90, причем разница в составе так же иногда зависит от места нахождения включения. Ферропериклаз из алмазов из Канады, Южной Африки и Южной Австралии характеризуется высокой магнезиальностью (0.80–0.90), тогда как ферропериклазы из Бразилии являются куда более железистыми (до 0.75) [Kaminsky, 2012]. По двум указанным характеристикам (распространенность и магнезиальность) ферропериклаз из природных включений отличается от ферропериклаза из экспериментов. Распространенность последнего гораздо ниже – 16–20% от общего объема, а магнезиальность стабильно высокая – 0.73–0.88.

CaSi-перовскит ассоциирует во включениях с бриджманитом, рингвудитом, *CaTi*-перовскитом, самородным никелем и титанитом [Kaminsky, 2012]. При извлечении из алмаза, а также снятии нагрузки в условиях эксперимента структура *CaSi*-перовскита претерпевает мгновенное ретроградное превращение в структуру ларнита или вольстромита [Gasparik et al., 1994]. Состав *CaSi*-перовскита достаточно чистый, в нем наблюдается лишь незначительно количество других элементов (Al, Fe, Sr, K).

Следующие минералы имеют очень слабое распространение во включениях, встречаются редко, сравнительно с тремя основными фазами: *CaTi*-перовскит, рингвудит, TAPP, стишовит, $(\text{Mg,Fe})(\text{Cr,Al})_2\text{O}_4$, самородный никель, самородное железо, мейджоритовый гранат, сульфиды.

Ни в одной из моделей, описывающей состав нижней мантии Земли, нет свободного SiO_2 , и, тем не менее, он был найден почти во всех включениях ультравысокобарических алмазах из разных регионов. При этом SiO_2 ассоциирует с ферропериклазом и *CaSi*-перовскитом, что говорит, о том, что изначально этот минерал имел структуру стишовита. Наличие SiO_2 в условиях нижней мантии было объяснено реакцией распада бриджманита, правда, только в железистых системах: $(\text{Mg,Fe})\text{SiO}_3 \rightarrow (\text{Mg,Fe})\text{O} + \text{SiO}_2$. В недавних работах Ю.А. Литвина с соавторами [2016] так называемый «стишовитовый парадокс» получил объяснение с позиции перитектической реакции в ультраосновных алмазообразующих системах.

CaTi-перовскит был идентифицирован в единственных алмазных зернах из россыпей Juina [Kaminsky et al., 2001; Nauman et al., 2005]. Этот минерал ассоциирует с ильменитом, Si-Mg фазой и мейджоритовым гранатом. В результате экспериментов было выяснено, что твердый раствор CaTiO_3 - CaSiO_3 стабилен в условиях нижней мантии [Kubo et al., 1997]. Из примесей в *CaTi*-перовските были зафиксированы SiO_2 (1.05-2.06 мас. %), Al_2O_3 (0.64-1.48 мас. %), FeO (0-0.17 мас. %) и Na_2O (0-0.33 мас. %).

Несколько включений TAPP (tetragonal almandine-pyrophe phase) было найдено в алмазах из São Luiz [Harte, Harris, 1994] в ассоциации с бриджманитом, *CaSi*-перовскитом и ферропериклазом. Формула минерала может быть представлена как $(\text{Mg,Fe}^{3+})(\text{Al,Cr,Mn})_2(\text{Mg,Fe}^{2+})_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ [Kaminsky, 2012]. Главной примесью этого минерала является хром (1.34-3.00 мас.% Cr_2O_3), что намного ниже, чем в гранатах ультрамафитовой ассоциации верхней мантии (3-10 мас.%). Также TAPP содержит примеси NiO (0.01–0.07 мас.%), MnO (0.05–0.96 мас.%), Na_2O (0.02– 1.13 мас.%) и K_2O (0–0.02 мас.%) [Kaminsky, 2012]. Характерно, что для TAPP практически не отмечается избыток кремния относительно 3 ф.е. TAPP не была синтезирована в экспериментах. Причины этого пока непонятны, однако следует отметить, что в природе эта фаза служит одним из главных концентраторов алюминия, а в экспериментах весь алюминий, как предполагается, входит в состав бриджманита.

Рингвудит (фаза с составом оливина) был обнаружен во включениях в алмазах из Бразилии (Juina area) и Гвинеи (Kankan) [Wilding et al., 1991; Kaminsky et al., 2001; Nauman et al., 2005, Stachel et al., 2000] в ассоциации с бриджманитом, *CaSi*-перовскитом и TAPP. Для этого минерала характерна значительная вариация магнезиальности (0.88-0.97), а также очень низкое содержание никеля, что не характерно для верхнемантийных оливинов. Эти минералы встречаются в ассоциации с ферропериклазом, содержащим никель [Kaminsky, 2012].

$(\text{Mg,Fe})(\text{Cr,Al,Fe})_2\text{O}_4$ в ассоциации с ферропериклазом и бриджманитом, была идентифицирована в качестве включений в алмазах из Juina, Бразилия [Kaminsky et al., 2001, 2012]. В обнаруженных образцах содержание хрома ниже (35- 55 мас.% Cr_2O_3), а железа (33-34 мас.% FeO) и титана (10-11 мас.% TiO_2) – выше, чем в Cr-шпинели из включений в верхнемантийных алмазах. Магнезиальность нижнемантийной «Cr-шпинели» варьирует в широких пределах по всем трубкам: 0.35-0.64 мас.%, но, в любом случае, эти значения ниже, чем в хромшпинелях из литосферных алмазов (0.51-0.80).

Согласно современным тектоническим моделям (напр., [Helffrich, Wood, 2001]), подкрепленным геофизическими данными, субдуцирующая литосферная плита способна достигать глубин переходной зоны и нижней мантии Земли. В погружающейся плите реакция превращения в нижнемантийную ассоциацию (бриджманит + CaSi-перовскит + стишовит) имеет отрицательный P-T наклон, поэтому смещается до значительных давлений (25-28 ГПа). В этих условиях преобразование корового вещества может приводить к нижнемантийному аналогу эклогитовой ассоциации. Стишовит в данной ассоциации представляет собой практически чистый SiO₂ с небольшой примесью алюминия. В зернах были обнаружены многочисленные поры, которые, как предполагается, отражают начальную стадию дегазации так называемой фазы Egg в условиях давления вблизи ее границы устойчивости [Kaminsky, 2012].

Помимо фазы Egg и стишовита, во включениях были обнаружены зерна CaSi-перовскита и мэйджорита с положительными и отрицательными Eu-аномалиями. Это может указывать на отношение данных зерен к субдуцировавшей литосферной плите и, соответственно, к эклогитовой ассоциации.

Довольно редкая карбонатитовая ассоциация нижнемантийных алмазов, содержащая карбонаты с типичными нижнемантийными фазами (CaSi-перовскитом, ферропериклазом), была обнаружена в россыпях Бразилии (Kaminsky, 2012). Для этой ассоциации характерно преобладание карбонатов (кальцит, доломит, ньеререйт, нахколит) и галидов. В целом, можно отметить, что ее появление, аналогично карбонатно-силикатным ассоциациям верхней мантии, отражает заключительные стадии эволюции алмазообразующих карбонатитовых расплавов.

Включения, отвечающие еще более глубинным горизонтам мантии Земли (предположительно *слой D''*), были обнаружены в алмазе из района Джуина, Бразилия [Kaminsky, 2012]. Для ассоциации этих включений характерно одновременное присутствие ферропериклаза и магнезиовюстита, а также наличие карбидов железа, магнетита и самородного железа. Согласно экспериментальным данным [Dubrovinsky et al., 2001], разложение ферропериклаза на низкожелезистый периклаз и практически чистый вюстит происходит при нагреве и давлении более 85 ГПа, что соответствует условиям *слоя D''* на границе нижней мантии и ядра Земли. Кроме того, нахождение в алмазах практически чистого вюстита (например, в россыпи Гуаниамо, Венесуэла) [Kaminsky, 2012] может служить еще одним признаком образования таких алмазов в условиях влияния вещества ядра Земли.

Заключение

Проведенный обзор показывает, что включения в алмазе дают наиболее полную информацию о минеральном составе мантии Земли на различных горизонтах, что позволяет уточнять и корректно интерпретировать геофизические и экспериментальные данные. Вместе с тем, достоверность петрологических построений на основе данных по включениям в алмазах с различных уровней глубинности явно отличается.

Для верхней мантии широко обсуждаемая пиролитовая модель мантии [Рингвуд, 1981] находит надежное подтверждение в составе как ассоциаций включений в алмазах, так и пород мантийных ксенолитов. Наблюдаемое сочетание перидотитового и эклогитового парагенезисов алмаза с резким преобладанием первого из них свидетельствует о преимущественно перидотитовом (гранат-лерцолитовом) составе верхней мантии с подчиненной долей эклогитов, представляющих собой результат глубокой переработки вещества океанической коры на различных глубинах.

Как следует из анализа данных по включениям в алмазах переходной зоны, в целом, для этой области устанавливается большая роль эклогитовой (гранатитовой) ассоциации, на что указывает значительное количество натрийсодержащих высококальциевых мэйджоритовых гранатов, иногда в ассоциации с омфацитом. Эти

данные хорошо согласуются с теоретическими и экспериментальными представлениями о том, что именно в переходной зоне аккумулируется вещество стагнирующих океанических плит [Anderson, Bass, 1986; Gasparik, 2002].

Несколько сложнее выглядит ситуация с анализом состава и распространенности нижнемантийных ассоциаций включений в природных алмазах, для которых отмечается явное несоответствие с природными данными. Во-первых, распространенность ферропериклаза в природных алмазах гораздо выше по сравнению с экспериментальными данными и результатами теоретического моделирования состава нижней мантии Земли. Во-вторых, составы ферропериклаза оказываются значительно более железистыми по сравнению с минералами, полученными в ходе экспериментального изучения пиролитовых систем. Большинство исследователей рассматривают эти несоответствия как иллюстрацию различия в валовых составах верхней и нижней мантии. Тем не менее, следует отметить, что в решении проблемы состава нижней мантии нельзя ориентироваться только на данные по включениям в алмазах. Необходимо также использовать результаты экспериментов, в том числе по синтезу алмаза и изучению эволюции алмазообразующих систем в условиях нижней мантии Земли. Так, из результатов опытов, проведенных в карбонатно-силикатных системах в условиях частичного плавления следует, что ферропериклаз является минералом на ликвидусе в широком диапазоне температур и давлений. При этом богатый железом ферропериклаз вполне может образовываться и в пиролитовой мантии, хотя при этом и необходимо наличие щелочно-карбонатных расплавов. Как было показано в работе Ю.А. Литвина с соавторами (2016), такие карбонатно-силикатные расплавы являются алмазообразующими при нижнемантийных параметрах, и их образование связано с малыми степенями частичного плавления карбонатизированного мантийного вещества. С этими расплавами генетически связана карбонатитовая ассоциация нижнемантийных включений в алмазах, минералогическими индикаторами которых являются щелочные карбонаты.

Литература

1. Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Похиленко Н.П. Морфология и морфогенез индикаторных минералов кимберлитов. Новосибирск: Филиал «Гео» Изд-ва СО РАН. 2001. 276 с.
2. Буланова Г. П., Барашков Ю. П., Тальникова С. Б., Смелова Г. Б.. Природный алмаз – генетические аспекты. Новосибирск: Наука. 1993. 168 с.
3. Гаранин В. К., Кудрявцева Г. П., Марфунин А. С., Михайличенко О. А. Включения в алмазе и алмазоносные породы. М.: Изд-во МГУ. 1991. 240 с.
4. Геология и генезис алмазных месторождений / Под ред. Б.М. Зубарева. В двух книгах. М.: ЦНИГРИ. 1989. Кн. 1. 242 с. Кн. 2. 424 с.
5. Глубинные ксенолиты и верхняя мантия / Под ред. В.С. Соболева, Н.Л. Добрецова, Н.В. Соболева. Новосибирск: Наука. 1975. 271 с.
6. Доусон Дж. Кимберлиты и ксенолиты в них. М.: Мир. 1983. 300 с.
7. Зедгенизов Д.А., Рагозин А.Л., Калинина В.В., Каги Х. Минералогия кальциевых включений в сублитосферных алмазах // Геохимия. 2016. № 10. С. 919-930.
8. Лазько Е.Е. Минералы-спутники алмаза и генезис кимберлитовых пород. М.: Недра. 1979. 192 с.
9. Литвин Ю.А., Спивак А.В., Кузюра А.В. Основы мантийно-карбонатитовой концепции генезиса алмаза // Геохимия. 2016. № 10. С. 873–892.
10. Пушаровский Ю.М., Пушаровский Д.Ю. Геология мантии Земли. М.: ГЕОС. 2010. 140 с.
11. Рингвуд А.Е. Состав и петрология мантии Земли. М.: Недра. 1981. 584 с.

12. Соболев В.С., Соболев Н.В., Лаврентьев В.Г. Включения в алмазе из алмазоносного эклогита // Докл. АН СССР. 1972. Т. 207. № 1. С. 172–178.
13. Соболев Н.В. Глубинные включения в кимберлитах и проблема состава верхней мантии. Новосибирск: Наука. 1974. 264 с.
14. Соболев Н.В. Парагенезисы алмаза и проблема глубинного минералообразования // Зап. ВМО. 1983. Ч. 112. Вып. 4. С. 389–396.
15. Соболев Н.В., Лаврентьев Ю.Г., Поспелова Л.Н., Соболев Е.В. Хромовые пиропы из алмазов Якутии // Докл. АН СССР. 1969. Т. 189. № 1. С. 162–165.
16. Соболев Н.В., Ефимова Э.С., Каминский Ф.В. и др. Титанат сложного состава и флогопит в области устойчивости алмаза / В сб. Состав и процессы глубинных зон континентальной литосферы. Новосибирск. 1988. С. 79–81.
17. Соболев Н.В., Ефимова Э.С., Реймерс Л.Ф., Захарченко О.Д., Махин А.И., Усова Л.В. Минеральные включения в алмазах Архангельской кимберлитовой провинции // Геология и геофизика. 1997. Т. 38. № 2. С. 358–370.
18. Соболев Н.В., Логвинова А.М., Ефимова Э.С. Сингенетические включения флогопита в макроалмазах кимберлитов: свидетельство роли летучих в образовании алмазов / Тез. докл. на Междунар. симп. «Петрология литосферы и происхождение алмаза». Новосибирск. 2008. С. 91.
19. Специус З.В., Серенко В.П. Состав континентальной верхней мантии и низов коры под Сибирской платформой. М.: Наука. 1990. 272 с.
20. Хаин В.Е., Ломизе М.Г. Геотектоника с основами геодинамики. М.: Изд-во МГУ, 1995, 480 с.
21. Харьков А.Д. Минералогические основы поисков алмазных месторождений. М.: Недра. 1978. 136 с.
22. Akaogi M., Akimoto A. Pyroxene-garnet solid-solution equilibria in the systems $\text{Mg}_4\text{Si}_4\text{O}_{12}$ – $\text{Mg}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ and $\text{Fe}_4\text{Si}_4\text{O}_{12}$ – $\text{Fe}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ at high pressures and temperatures // Phys. Earth. Planet. Inter. 1977. V. 15. P. 90–106.
23. Anderson D.L. Composition of the Earth // Science. 1989. V. 243. P. 367–370.
24. Anderson D.L., Bass J.D. Transition region of the Earth's upper mantle // Nature. 1986. V. 320. P. 321–328.
25. Boehler R. Melting of mantle and core materials at very high pressures. Phil. Trans. Royal. Soc. London A. 1996. V. 354. P. 1265–1278.
26. Coleman R.G., Lee D.E., Beatty L.B., Brannock W.W. Eclogites and eclogites: their differences and similarities // Bull. Geol. Soc. Am. 1965. V. 76. P. 483–508.
27. Davies R.M., Griffin W.L., O'Reilly S.Y. Diamonds from the deep: pipe DO27, Slave craton, Canada / In: Proc. of the VII Intern. Kimb. Conf. (eds. J.J. Gurney, J.L. Gurney, M.D. Pascoe, S.H. Richardson). Cape Town, Red Roof Design. 1999. V. 1. P. 148–155.
28. Davies R.M., Griffin W.L., O'Reilly S.Y., McCandless T.E. Inclusions in diamonds from the K14 and K10 kimberlites, Buffalo Hills, Alberta, Canada: diamond growth in a plume? // Lithos. 2004. V. 77. P. 99–111.
29. Deines P., Harris J.W., Gurney J. J. The carbon isotopic composition and nitrogen content of lithospheric and asthenospheric diamonds from the Jagersfontein and Koffiefontein kimberlite, South Africa // Geochim. Cosmochim. Acta. 1991. V. 55. P. 2615–2625.
30. Dubrovinsky L.S., Dubrovinskaya N.A., Annersten H., Halenius E., Harryson H. Stability of $(\text{Mg}_{0.5}\text{Fe}_{0.5})\text{O}$ and $(\text{Mg}_{0.8}\text{Fe}_{0.2})\text{O}$ magnesiowustites in the lower mantle // Eur. J. Mineral. 2001. V. 13. P. 857–861.
31. Dziewonski A.M., Anderson D.L. Preliminary reference Earth model // Phys. Earth Planet Interiors. 1981. V. 25. P. 297–356.

32. Fei Y., Wang Y., Finger L.W. Maximum solubility of FeO in (Mg,Fe)SiO₃ perovskite as a function of temperature at 26 GPa: implication for FeO content in the lower mantle. *J. Geophys. Res.* 1996. V. 101. (B5). P. 11525–11530.
33. Frost D.J., Langenhorst F. The effect of Al₂O₃ on Fe–Mg partitioning between magnesio-wüstite and magnesium silicate perovskite. *Earth Planet. Sci. Lett.* 2002. V. 199. P. 227–241.
34. Gasparik T. Experimental investigations of the origin of majoritic garnet inclusions in diamonds. // *Phys. Chem. Minerals.* 2002. V. 29. P. 170–180.
35. Gasparik T., Wolf K., Smith C.M. Experimental determination of phase relations in the CaSiO₃ system from 8 to 15 GPa // *Amer. Mineral.* 1994. V. 79. P. 1219–1222.
36. Griffin W.L., Sobolev N.V., Ryan C.G., Pokhilenko N.P., Win T.T., Yefimova E.S. Trace elements in garnets and chromites: diamond formation in the Siberian lithosphere // *Lithosphere.* 1993. V. 29. P. 235–256.
37. Gurney J.J. Diamonds / In: *Diamonds, kimberlites and related rocks* (eds. J. Ross et al.). Geol. Soc. Aust. Spec. Publ. V. 14. Blackwell Sci. Publ., Melbourne. 1989. P. 935–965.
38. Haggerty S.E. Oxide mineralogy of the upper mantle // *Rev. Mineral.* 1991. V. 25. P. 355–416.
39. Harris J.W. The recognition of diamond inclusions. Pt. 1: Syngenetic inclusions // *Industrial Diamond Review.* V. 28. P. 402–410.
40. Hart S.R., Zindler A. In search for a bulk Earth composition // *Chem. Geol.* 1986. V. 57. P. 247–267.
41. Harte B. Diamond formation in the deep mantle: the record of mineral inclusions and their distribution in relation to mantle dehydration zones // *Mineralogical Magazine.* 2010. V. 74 (2). P. 189–215.
42. Harte B., Cayzer N. Decompression and unmixing of crystals included in diamonds from the mantle transition zone // *Phys. Chem. Minerals.* 2007. V. 34. P. 647–656.
43. Harte B., Harris J.W. Lower mantle associations preserved in diamonds. // *Mineral. Mag.* 1994. V. 58A. P. 384–385.
44. Harte B., Harris J.W., Hutchinson M. T., Watt G.R., Wilding M.C. Lower mantle mineral associations in diamonds from São Luiz, Brazil / In: *Mantle Petrology: Field Observations and High Pressure Experimentation: A tribute to Francis R. (Joe) Boyd* (eds. Y. Fei, C.M. Bertka, B.O. Mysen). The Geochemical Society, Houston. 1999. P. 125–153.
45. Hayman P.C., Kopylova M.G., Kaminsky F.V. Lower mantle diamonds from Rio Soriso (Juina area, Mato Grosso, Brazil) // *Contrib. Mineral. Petrol.* 2005. V. 149. P. 430–445.
46. Helffrich G.R., Wood B.J. The Earth's mantle // *Nature.* 2001. V. 412. P. 501–507.
47. Hofmann A.W. Chemical differentiation of the Earth – the relationship between mantle, continental crust, and oceanic crust // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1988. V. 90. P. 297–314.
48. Hutchison M.T. Constitution of deep transition zone and lower mantle shown by diamonds and their inclusions / Unpublished PhD Thesis, University of Edinburgh, UK. 1997. V. 1. 340 p. V. 2. 306 p.
49. Irifune T. An experimental investigation of the pyroxene-garnet transformation in a pyrolite composition and its bearing on the constitution of the mantle. // *Phys. Earth Planet. Inter.* 1987. V. 45. P. 324–336.
50. Jagoutz E., Palme H., Baddenhausen H., Blum K., Cendales M., Dreibus G., Spettel B., Lorenz V., Wanke H. The abundances of major, minor and trace elements in the Earth's mantle as derived from primitive ultramafic nodules / *Proc. 10th Lunar Planet. Sci. Conf.* 1979. P. 2031–2050.
51. Jaques A.L., Lewis J.D., Smith C.B. The kimberlites and lamproites of Western Australia. Government Printing Office. Perth. 1986. 268 p.

52. Kaminsky F.V., Zakharchenko O.D., Davies R., Griffin W.L., Khachatryan-Blinova G.K., Shiryayev A.A. Superdeep diamonds from the Juina area, Mato Grosso State, Brazil // *Contrib. Mineral. Petrol.* 2001. V. 140. P. 734–753.
53. Kaminsky F.V. Mineralogy of the lower mantle: a review of ‘super-deep’ mineral inclusions in diamond // *Earth Sci. Rev.* 2012. V. 110. P. 127–147.
54. Kaminsky F.V. The Earth’s lower mantle. Springer. 2017. 332 p.
55. Kawai N., Endo S. The generation of ultrahigh hydrostatic pressures by a split sphere apparatus. *Rev. Sci. Instrum.* 1970. V. 41. P. 1178 – 1181.
56. Kubo A., Suzuki T., Akaogi M. High pressure phase equilibria in the system CaTiO_3 – CaSiO_3 : stability of perovskite solid solutions // *Phys. Chem. Minerals.* 1997. V. 24. P. 488–494.
57. Lee K.K.M., O’Neill B., Panero W.R., Shim S.H., Benedetti L.R., Jeanloz R. Equations of state and high-pressure phases of a natural peridotite and implications for the Earth’s lower mantle // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2004. V. 223. P. 381–393.
58. Mantle xenoliths / Ed. P.H. Nixon. Chichester: John Wiley Sons. 1987. 844 p.
59. Mao H.K., Bell P.M. High-pressure physics: the 1-megabar mark on the ruby R1 static pressure scale. *Science.* 1976. V. 191. P. 851 – 852.
60. Mc Kenna N.M., Gurney J.J., Klump J., Davidson J.M. Aspects of diamond mineralisation and distribution at the Helam Mine, South Africa // *Lithos.* 2004. V. 77. P. 193–208.
61. McCammon C. Perovskite as a possible sink for ferric iron in the lower mantle // *Nature.* 1997. V. 387. P. 694–696.
62. McDonough W.F., Sun S.-S. The composition of the Earth // *Chem. Geol.* 1995. V. 120. P. 223–253.
63. Meyer H.O.A. Inclusions in diamond / In: Mantle xenoliths (ed. P.H. Nixon). Chichester, John Wiley Sons. 1987, p. 501–522.
64. Meyer H.O.A., Boyd F.R. Inclusions in diamonds // *Carnegie Institute of Washington Year Book.* Washington. DC. 1968. V. 66. P. 446–450.
65. Meyer H.O.A., Tsai H.-M. The nature and significance of mineral inclusions in natural diamond: a review // *Minerals Sci. Engng.* 1976. V. 8. No. 4. P. 242–261.
66. Moore R.O., Gurney J.J. Pyroxene solid solution in garnets included in diamonds. // *Nature.* 1985. V. 318. P. 553–555.
67. Moore R.O., Gurney J.J. Mineral inclusions in diamond from the Monastery kimberlite, South Africa / In: Kimberlites and related rocks (ed. J. Ross). Blackwell Sci. Publ., Victoria, Melbourne, Australia. 1989. P. 1029–1041.
68. Murakami M., Ohishi Y., Hirao N., Hirose. K. A perovskitic lower mantle inferred from high-pressure, high-temperature sound velocity data // *Nature.* 2012. V. 485. P. 90–94.
69. Perillat J-P., Ricolleau A., Daniel I., Fiquet G., Mezouar M., Guignot N., Cardon H. Phase transformations of subducted basaltic crust in the upmost lower mantle. // *Phys. Earth Planet. Interiors.* 2006. V. 157. P. 139–149.
70. Pokhilenko N.P., Sobolev N.V., Reutsky V.N., Hall A.E., Taylor L.A. Crystalline inclusions and C isotope ratios in diamonds from the Snap Lake/King Lake kimberlite dyke system: evidence of ultradeep and enriched lithospheric mantle // *Lithos.* 2004. V. 77. P. 57–67.
71. Ringwood A.E., Major A. Some high-pressure transformations in olivines and pyroxenes. *J. Geophys. Res.* 1966. V. 71. P. 4448–4449.
72. Ringwood A.E. Phase transformations and their bearing on the constitution and dynamics of the mantle // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1991. V. 55. P. 2083–2110.
73. Ringwood A.E., Major A. Synthesis of majorite and other high-pressure garnets and perovskites. *Earth. Planet. Sci. Lett.* 1971. V. 12. P. 411–418.

74. Scott Smith B.H., Danchin R.U., Harris J.W., Stracke K.J. Kimberlites near Orroroo, South Australia / In: Kimberlites I: Kimberlites and related rocks (ed. J. Kornprobst). Elsevier, Amsterdam. 1984. P. 121–142.
75. Sobolev N.V., Yefimova E.S., Koptil V.I. Mineral inclusions in diamonds in the northeast of the Yakutian diamondiferous province / In: Proc. of the VII Intern. Kimb. Conf. (eds. J.J. Gurney, J.L. Gurney, M.D. Pascoe, S.H. Richardson). Cape Town, Red Roof Design. 1999. V. 2. P. 816–822.
76. Sobolev N.V., Logvinova A.M., Zedgenizov D.A., Seryotkin Y.V., Efimova E.S., Floss C., Taylor L.A. Mineral inclusions in microdiamonds and macrodiamonds from kimberlites of Yakutia: a comparative study // *Lithos*. 2004. V. 77. P. 225–242.
77. Stachel T. Diamonds from the asthenosphere and the transition zone. // *Eur. J. Mineral.* 2001. V. 13. P. 883–892.
78. Stachel T., Harris J.W., Brey G.P., Joswig W. Kankan diamonds (Guinea) II: lower mantle inclusion paragenesis // *Contrib. Mineral. Petrol.* 2000. V. 140. P. 16–27.
79. Stixrude L., Lithgow-Bertelloni C. Influence of phase transformations on lateral heterogeneity and dynamics in the Earth's mantle. // *Earth. Planet. Sci. Lett.* 2007. V. 263. P. 45–55.
80. Taylor L.A., Anand M. Diamonds: time capsules from the Siberian Mantle // *Chemie der Erde*. 2004. V. 64. P. 1–74.
81. Taylor L.A., Neal C.R. Eclogites with oceanic crustal and mantle signatures from the Bellsbank kimberlite, South Africa. Part 1: Mineralogy, petrography, and whole rock chemistry // *J. Geol.* 1989. V. 97. P. 551–567.
82. Ultrahigh-pressure mineralogy: physics and chemistry of the Earth's deep interior (R.J. Hemley, ed.). *Reviews in mineralogy*, vol. 37. 1998.
83. Wang W., Sueno S., Takahashi E., Yurimoto H., Gasparik T. Enrichment processes at the base of the Archean lithospheric mantle: observations from trace-element characteristics of pyropic garnet inclusions in diamond // *Contrib. Mineral. Petrol.* 2000. V. 139. P. 720–733.
84. Wilding M.C. A study of diamonds with syngenetic inclusions / Unpublished PhD Thesis, University of Edinburgh, UK. 1990. 281 p.
85. Wood B.J. Phase transformations and partitioning relations in peridotite under lower mantle conditions // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2000. V. 174. P. 341–354.



Летников Феликс Артемьевич, д.г.м.н., профессор, действительный член РАН, завлабораторией института земной коры СО РАН. После окончания Щучинского геологоразведочного техникума работал в геологических партиях Киргизского геолуправления на поисках и разведке золоторудных месторождений, в тресте КазЦветметразведка на полиметаллических месторождений Центрального Казахстана. 1962 года после окончания ВЗПИ перешел в Казахский институт минерального сырья, где изучал месторождения урана, тантала, олово. По конкурсу был избран зав. лаборатории ИЗК ВСФ СОРАН, где и работает до настоящего времени. Круг научных интересов Ф. А. Летникова

необычайно широк - от региональной геологии и металлогении рудных районов и провинций до исследования глубинных процессов в земной коре- гранитообразования и металлогении купальных структур докембрия. Им опубликовано более 300 работ в том числе 15 монографий по теории гранита образования и рудообразования, металлогении редких элементов, подготовлено 30 кандидатов наук и 8 докторов наук.



Лось Владимир Львович – доктор геол.-мин. наук, академик Международной академии информатизации и Академии минеральных ресурсов РК. В 1959 г. окончил геологоразведочный факультет Казахского горно-металлургического института, получив специальность горный инженер-геолог. Лауреат премии Министерства геологии СССР за вклад в научно-технический прогресс в геологии (1989) и премии им. академика Ш.Е. Есенова за цикл работ по теоретическому обеспечению и технологиям прогнозно-поисковых работ на рудные полезные ископаемые (2008). Научные интересы: математические методы в геологии; металлогения; прогноз рудных полезных ископаемых с количественной оценкой прогнозных ресурсов; моделирование рудных

месторождений; математическое и компьютерное моделирование процессов рудообразования; геохимические поиски скрытых рудных месторождений; синергетика геологических систем. В настоящее время – главный геолог ТОО «Горно-экономический консалтинг». Автор более 250 работ.



Нарсеев Валерий Александрович, д.г.м.н., профессор, лауреат Государственной премии СССР, лауреат премии Академика Ш. Е. Есенова. После окончания Казахского горно-металлургического института работал на поисках и разведке месторождения олова, вольфрама, тантала, бериллия, лития в тресте Алтайцветметразведка. С 1961 года работал научным сотрудником, зав. лабораторией отдела редких и рассеянных элементов, зав. отделом золота Казымс мингео КазСССР. С 1981 по 1990 год был директором в ЦНИГРИ Мингео СССР, главным куратором по рудному золоту. После распада СССР работал в различных ОАО и СП консультантом и экспертом по золоту. Круг научных интересов - специальная металлогения редких металлов, золото с составлением карт прогноза по различным районам Казахстана и России. Внёс существенный вклад в развитие и практическое применение теории эндогенной

зональности золоторудных месторождений. Им опубликовано более 200 научных работ, в том числе 12 монографий, подготовлено 15 кандидатов г.м.н.

Ф.А. Летников, В.Л. Лось, В.А. Нарсеев
МЕСТОРОЖДЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ АЛМАЗОВ КУМДЫКУЛЬ
(СЕВЕРНЫЙ КАЗАХСТАН)

Основная рабочая гипотеза при поисках алмазов в Северном Казахстане заключалась в том, что в кимберлитах Якутии были установлены ксенолиты алмазоносных эклогитов. А поскольку по существующим представлениям эклогиты являлись высокобарными метаморфическими породами, то идея их алмазоносности представлялась весьма вероятной. Эпизодические находки алмазов в участках развития эклогитов в метаморфических породах Кокчетавской глыбы как будто бы подтверждали эту точку зрения, что было отражено в статье О.М. Розена, Ю.М. Зорина и А.А. Заячковского (1972). Но настоящим толчком в оценке алмазоносности докембрия Кокчетавской глыбы было обнаружение алмазов в Обуховской титано - циркониевой россыпи при оценке технологической пробы песков Обуховского месторождения, которое расположено к северу от выходов коренных докембрийских метаморфических пород в россыпях неогенового возраста. Открытое А.А. Заячковским месторождение тонкодисперсных алмазов Кумдыкуль до сих пор остается единственным в мире промышленным месторождением данного генетического типа. Более чем 20-летний период изучения докембрия района, генезиса и строения месторождения изучалось и отражен в публикациях О.М. Розена, Ф.А. Летникова, Нарсеева В.А., Л.Д. Лавровой, В.А. Печникова, М.А. Петровой, Е.Д. Надеждиной, Т.Е. Екимовой, А.А. Заячковского, Ю.М. Зорина, Ю.А. Шуколюкова, А.М. Плешакова, Н.Г. Удовкиной, Д.П. Виноградова, Н.В. Соболева, В.С. Шацкого, Н.Л. Добрецова, М.А. Вавилова, А.В. Корсакова, Т.В. Посуховой, Г.М. Рылова, Г.Г. Шешкеля, С.В. Горайнова, А.А. Маракушева, Л.Л. Перчука, Е. Jagoutz, Д.В. Дергачева, Т.М. Шумиловой и других исследователей.

Краткие сведения о месторождении

Месторождение Кумдыкуль расположено в 30 км к юго-западу от г. Кокчетав (Казахстан) и имеет координаты 53°10' сев. широты и 69° восточной долготы. Оно размещается в тектонической зоне, сложенной бластомилонитами, которые развивались по протерозойским породам пестрого состава - гнейсам, сланцам, карбонатным породам, амфиболитам. В бластомилонитах широко проявлены метасоматические процессы, что привело к существенному преобразованию исходных пород. Воздействие восстановленных глубинных флюидов обусловило осаждение в тектонитах графита и тонкодисперсного алмаза, когда графит явно преобладает. Это графит-алмазное месторождение, когда максимальная мощность рудной зоны не превышает 250 м. Разведанные запасы алмазов составляют около 3 млрд, карат, при среднем содержании алмазов в несколько десятков карат, отмечаются участки, в которых содержания достигают сотен карат на тонну, а в локальных участках и нескольких тысяч карат.

Месторождение разведано до глубины 300 м, границы рудной зоны проведены по содержаниям в 8 карат, около 90% всех алмазов сосредоточено в метасоматически измененных бластомилонитах по гнейсам, остальные 10% локализованы в карбонатных, карбонат-силикатных и гранат-пироксеновых породах. Рудные зоны в пределах месторождения хорошо прослеживаются по падению и простиранию. Размеры кристаллов алмаза варьируют от нескольких до десятков микрон, редко встречаются кубические кристаллы около 1 мм.

Возраст пород зерендинской серии, по данным изотопной геохронологии, варьирует от 1.8-2.6 млрд лет (U/Pb по породе в целом) (Jagoutz et al., 1989] до 517 млн лет (Sm/Nd и U/Pb по минералам) (Claoue-Long et al., 1991; Лаврова и др., 1997).

Анализ геологических материалов (резкое несогласное залегание рифейских зеленосланцевых пород на породах зерендинской серии) является обоснованием для

отнесения эклогит-гнейсово-сланцевого комплекса к раннему протерозою. Более молодые датировки отражают, вероятнее всего, наложенные процессы.

Наиболее полно описание двух месторождений, так называемого «метаморфогенного типа» Кумдыкуль и Барчинского приведены в монографии Л.Д. Лавровой, В.А. Печникова, А.М. Плешакова, Е.Д. Надеждиной и Ю.А. Шуколюкова (Москва, Научный мир, 1999. 221 с.), в которой наряду с детальными

минералогическими, структурными и геохимическими исследованиями впервые детально изучена изотопная геохимия алмазов. Основание детальных изотопных исследований «...дает возможность предполагать, что алмазообразующий флюид имел изотопные характеристики, свойственные исключительной коровому материалу (с. 121)». К сожалению, в научной геологической литературе не отражена роль заведующего лабораторией разделения минералов ЦНИГРИ А.И. Берлинского, который внес решающий вклад в разработку технологий обогащения алмазосодержащих руд Кокчетавского района и собственно месторождения Кумдыкуль и был удостоен Государственной премии СССР 1990 года.

В геологическом строении месторождения участвует сложный комплекс метаморфических пород зерендинской серии, объединённых в кумдыкольскую свиту (смотри рис). Нижняя пачка свиты сложена плагиогнейсами, гнейсами, сланцами. В средней пачке преобладают гранат-биотитовые гнейсы. Среди них залегают единичные прослои и пластовые тела карбонатных и хлорит-тремолит-кварцевых пород, будины и линзы эклогитов, амфиболитов и гранат пироксеновых пород. В низах пачки выделяется инъекционная зона гранитогнейсов. Верхняя пачка сложена мигматитами, гнейсами, гранат-мусковитовыми сланцами. Общая мощность кумдыкольской свиты около 1000 м. Породы смяты в изоклинальные складки северо-восточного простирания. Разрывные нарушения представлены: наиболее древними зонами тектонобластиков север-северо-восточного простирания; более молодыми разрывами восток-северо-восточного направления, самыми молодыми субширотными разрывами, смещающимися все ранее образованные структуры.

Распределение содержаний алмазов в рудной зоне

Рудная зона развивается по средней пачке, простираясь в северо-восточном направлении. Она характеризуется интенсивной деформированностью пород, многократностью проявления тектонических движений и широким развитием метасоматических процессов. Наиболее устойчивые высокие содержания алмазов приурочены к графитистым кварц-серицит-хлоритовым (апогнейсовым), кварц-пироксеновым, пироксен-карбонатным и другим метасоматитам, образующим линейные зоны, контролируемые разрывными нарушениями север-северо-восточного простирания. Зоны высоких концентраций алмазов разделяются слабоалмазонасными либо безрудными участками малодислоцированных и неизмененных пород.

Изучение распределения концентраций алмазов (характеристики А в кар/т) проводилось по данным анализа керновых проб и построенным на их основе аппроксимационным моделям с радиусом эффективной генерализации 2 м (Лось, Розенков, Чевердин, 1995) (таблица 1). Каждая проба характеризовалась тройкой координат локальной координатной сети, типом породы (в номинальной шкале), содержанием алмазов, графита и оценкой интенсивности метасоматического преобразования, пиритизации и тектонической нарушенности пород (последние три характеристики определялись на основе визуальных наблюдений в балльной шкале). Обработка данных проводилась с помощью программного комплекса ELAN (Лось, Гоберник, Иоффе, 1994).

Таблица 1. Характеристика проб.

Характеристики	Оценочная шкала
Степень тектонической нарушенности пород в зонах ССВ простираения	- интенсивная – 1,0; - умеренная – 0,5; - слабая или практически не выраженная – 0
Метасоматическая переработка пород	- интенсивная с полным изменением исходной породы – 1,0; - умеренная, с частичным изменением породы – 0,5, - не проявлена - 0
Графитизация пород	- повышенная ($>0,3\%$) – 2,0; средняя ($0,1-0,3\%$) – 1,0; низкая ($<0,1\%$) - 0
Пиритизация пород	- устанавливается визуально – 1, - визуально не отмечается - 0
Алмазоносность пород	- в абсолютных содержаниях (кар/т)
Исходный тип пород	цифровой код: гнейсы – 5; сланцы – 6; амфиболиты – 7; эклогиты – 8; карбонатные породы – 9; мигматиты – 10; гнейсы, интенсивно инъецированные гранитами -12

Статистическое распределение концентраций алмазов (А) в пределах минерализованной зоны близко к унимодальному логнормальному с оценкой моды 14 кар/т и коэффициентом вариации 80%. Статистическое распределение А вне пределов минерализованной зоны (в мигматитах, гранитах, зоне инъецирования гранитов в гнейсах) тоже близко к логнормальному с оценкой мод в диапазоне от 2 до 5 кар/т. Довольно большой коэффициент вариации и наличие на кривых плотности распределения отклонений от нормальной формы дает основание предполагать наличие структурной неоднородности в поле концентраций А.

Изучение пространственного распределения А проводилось путем построения 1-, 2- и 3-мерных моделей с использованием алгоритма «весовых» функций. Наиболее детальными являются одномерные модели распределения А вдоль осей скважин. Прежде всего, обращают на себя внимание своего рода «всплески» и высокая пространственная неоднородность распределения А. Величина «всплесков» строго упорядочена, т.е. имеются устойчивые уровни концентрации алмазов: 2-3, 6, 14, 40-50, 100-120 кар/т. Наиболее четко проявлены уровни 14 (он соответствует главной моде), 40-50 и 100-120 кар/т. Таким образом, в месторождении Кумдыколь, как и в большинстве рудных гидротермальных месторождений, можно наметить естественные границы между уровнями концентрации алмазов: 9, 25, 70 кар/т.

Зависимость концентраций алмаза от количества графита (Г), интенсивности метасоматического преобразования (М), пиритизации (П) и тектонической нарушенности (Т) пород оценивалась с помощью оптимального корреляционного отношения. В таблице 2 приведены корреляционные отношения, оцененные непосредственно в пробах и на объемной модели центрального блока.

Во всех случаях форма зависимости А от Г, М, П и Т монотонно возрастающая. Значительно более высокая сила связи на моделях свидетельствует о высокой локальной изменчивости характеристик полей распределения рассмотренных компонентов (и прежде всего А) и в то же время их генетической взаимосвязи. Во всяком случае,

восстановить усредненные значения А по оценкам значениям Г, М, П и Т в минерализованной зоне можно с высокой достоверностью.

Особенности распределения концентраций алмазов в месторождении Кумдыколь позволяют сделать следующие выводы:

1. Распределение концентраций алмазов в пространстве неравномерное и имеет «всплесковый» или эпицентральный характер;
2. Устанавливается несколько устойчивых уровней концентрации алмазов (наиболее проявленные 1; 40-50 и 100-120 кар/т);
3. В распределении концентрации алмазов фиксируется фрагментарная ритмичность нескольких порядков;
4. Обобщенные (модельные) концентрации алмазов имеют высокую прямую связь с графитизацией, метасоматическим изменением, пиритизацией и тектонической нарушенностью пород.

Основные типы и разновидности кристаллов. Строение поверхности

Электронно-микроскопическое изучение кристаллов алмаза проводилось на растровом электронном микроскопе JSM-T20 фирмы "ДЖЕОЛ" (Япония) в диапазоне инструментальных увеличений $35\times$ до $30000\times$. Съемка изображений во вторичных электронах осуществлялась с кристаллов алмаза, предварительно подвергнутых двухслойному напылению углеродом и серебром для обеспечения электропроводности изучаемых объектов и получения необходимого топографического контраста для наблюдения деталей микрорельефа кристаллов.

Известно, что морфологические типы и разновидности алмазов определяются сочетанием трех основных простых форм октаэдра {Ш}, ромбододекаэдра {110} и куба {100}. Среди алмазов месторождения Кумдыкуль в отличие от кимберлитов, по данным А.А. Заячковского и Е.Д. Надеждиной, можно выделить только два габитусных типа: октаэдрический и кубический. Кристаллы ромбододекаэдрического габитуса отсутствуют. В то же время алмазам из тектонитов свойственны кристаллы, ранее не известные ни среди природных, ни среди синтетических аналогов. Это разнообразные скелетные и кривогранные сфероидальные формы. Таким образом, все морфологическое многообразие алмазов Кумдыкуль можно объединить в следующие наиболее характерные габитусные типы: октаэдрический, кубический, скелетный и сфероидальный.

Различное сочетание простых форм позволило выделить также группу комбинационных кристаллов, нередко наследующих общие черты преимущественно октаэдрического габитусного типа. В каждом габитусном типе можно выделить несколько разновидностей, что определяется степенью развития основных и дополнительных форм их граней.

Таблица 2. Корреляционные отношения между содержаниями алмазов (А) и характеристиками Г, М, П и Т.

	Г	М	П	Т
А	$\frac{0,28}{0,78}$	$\frac{0,33}{0,78}$	$\frac{0,1}{0,53}$	$\frac{0,22}{0,74}$

Примечание: верхнее число – значение корреляционного отношения в пробах центрального блока; нижнее – на объемной модели центрального блока (модели строились с радиусом эффективной генерализации 2м).

Тонкая перемежаемость пород разного состава в рудных телах не позволяет в полной мере установить принадлежность тех или иных кристаллографических форм к конкретным породам в большеобъемных пробах (~ 40 кг). Тем не менее, сфероидальные и скелетные формы алмазов приурочены преимущественно к карбонатным породам. Для гранат-пироксеновых пород характерны кубические кристаллы со слегка вогнутыми гранями. В силлиманит-кварцевых породах часто отмечаются идеальные октаэдры с блестящими гранями или комбинационные кристаллы с базовым октаэдром.

С сожалением следует констатировать, что и после 20 лет изучения и разведки месторождения многие вопросы минералогии алмаза и его приуроченности к разным типам пород остались не изученными.

Генезис месторождения во многом остается дискуссионным. Сразу после открытия месторождения нами была предложена гипотеза о коровом генезисе алмаза (Летников, 1983). Суть предлагаемого механизма сводилась к образованию тонкодисперсного алмаза в бластомилонитах при одновременном воздействии двух факторов: сколовых деформаций под действием тектонических напряжений в зонах бластомилонитов, через которые мигрировали восстановленные высокоуглеродистые газовые флюиды, из них шло отложение графита и алмаза. Алмаз зарождался на активных центрах деформируемых минералов, несущих избыточную энергию. Впоследствии алмаз захватывался при росте минералов, что обеспечивало его относительную сохранность при быстром снижении Т, Р и росте Рог-.

Геологи ЦНИГРИ (Лаврова и др., 1996; Екимова и др., 1992, 1994), изучавшие это месторождение и аналогичное Барчинское проявление алмазов в тектонитах, подтвердили сделанный нами вывод о генезисе тонкодисперсного алмаза: о связи алмазообразования на Кумдыкульском месторождении с тектонической зоной и процессами в ней происходящими” (Лаврова и др., 1996, с. 27).

Другая группа исследователей (Шацкий, Соболев, 1993; Dobretsov at all., 1996, Добрецов и др., 1998), опираясь на находки микровключений коэсита в цирконах, объясняют образование тонкодисперсных алмазов месторождения Кумдыкуль кристаллизацией при сверхвысоких давлениях с достижением Р-Т условий перехода графит - алмаз за счет субдукции тектонической пластины в мантию на глубины более 150 км. Исходя из петрологических построений, рассматривается гипотеза, по которой источником алмазов являются глубинные алмазоносные перидотиты или алмазоносные эклогитовые магмы, которые после кристаллизации были позднее преобразованы метасоматическими процессами. По этой схеме предполагалось, что алмаз является реликтовым минералом (Маракушев, 1994). Сходную точку зрения развивает еще одна группа исследователей, предполагающая, что источником алмазов могли быть карбонатитовые или кимберлитовые расплавы, внедрившиеся в земную кору (Перчук и ДР-, 1995).

Наиболее обоснованной представляется точка зрения В.А. Печникова (1993), который принимал участие в разведке месторождения, детально его закартировал и на основании данных массового опробования доказал приуроченность алмазов исключительно к узким линейно вытянутым зонам графитизированных бластомилонитов. Этот вывод подтверждает выдвинутую нами ранее гипотезу о роли одновременного воздействия двух факторов: стресса и глубинных восстановленных флюидов, проникающих по тектоническим зонам во время их высокой тектонической активности (Летников, 1983). Именно поэтому за пределами зон графитизированных бластомилонитов и в эклогитах алмазы не установлены.

В свете перечисленных гипотез мы поставили перед собой задачу исследовать при помощи микрозондового рентгеноспектрального анализа (Camebax SX-50, Иргиредмет, аналитик В.Г. Баранкевич) наиболее распространенные акцессорные минералы из алмазодержащих пород и эклогитов и ответить на следующие вопросы:

1. Являются ли они коровыми образованиями?
2. Есть ли у них сходство с кимберлитовыми ассоциациями?
3. Устанавливается ли воздействие очень высоких давлений на изученные минералы при гипотетическом их субдуцировании в составе метаморфических пород на глубине более 150 км?

Для решения поставленной задачи нами было изучено распределение наиболее типоморфных примесных элементов в акцессорных минералах (ильменит, магнетит, рутил, апатит, циркон, халькопирит, пирит, пирротин, а также гранат) из алмазоносных графитизированных тектонитов месторождения Кумдыкуль и эклогитов за его пределами, но залегающих в той же зоне глубинного разлома. Затем было проведено сопоставление с аналогичными данными по этим же минералам из алмазосодержащих кимберлитов (Летников, Звонкова и др., 1999).

Из полученных данных очевидно, что:

1. Из всех проанализированных минералов по составу элементов 'примесей' только пирротин по содержанию некоторых из них перекрывается отчасти с пирротинами из кимберлитов. Во всех остальных случаях проанализированные минералы не обнаруживают даже отдаленных черт сходства с таковыми из кимберлитов. Все это однозначно указывает, что акцессорные минералы месторождения Кумдыкуль образовались на месте одновременно с породообразующими минералами бластомилонитов, алмазом и графитом, а не за счет дезинтеграции внедрившихся в земную кору гипотетических кимберлитовых расплавов.
2. Во всех случаях отмечается отличие по составу изученных минералов из алмазоносных тектонитов и эклогитов, что указывает на различные физико-химические условия их формирования.
3. У некоторых из изученных минералов (ильменит, халькопирит, пирротин и т.д.), в случае их образования в глубинных условиях при снижении T и P происходит распад твердых растворов с образованием характерных структур распада и выделением обособленных минеральных фаз. В нашем случае никаких структур распада обнаружено не было.
4. Судя по проградной зональности гранатов в эклогитах процесс эклогитизации шел на фоне нарастания давления, что полностью отрицает механизм субдукции на глубину более 150 км с последующей обдукцией тел эклогитов в земную кору.

Таким образом, если исходить из концепции о мантийном происхождении тонкодисперсных алмазов месторождения Кумдыкуль по механизму субдукции пород на глубину более 150 км и последующей обдукции или же за счет дезинтеграции в коре тел алмазоносных кимберлитов или лампроитов, то справедливо ожидать, что при сохранении в породах алмаза должны были остаться и неизменными и составы парагенных с ним акцессорных минералов. Как следует из приведенных нами данных, мантийных "меток" в исследованных минералах не отмечено, а гранат из эклогитов характеризуется классической проградной зональностью, характерной для коровых эклогитов. Изученные нами акцессорные минералы не содержат информации о мантийном генезисе и являются коровыми образованиями.

Само образование тонкодисперсного алмаза и находки микровключений коэсита в цирконах являются результатом проявления в локальных микромасштабах сверхдавлений при наложении сдвиговых тектонических деформаций в гетерогенных по составу тектонических зонах. Механизм этого явления широко обсуждался в геологической литературе и достаточно обоснован экспериментальными, расчетными и минералого-петрографическими данными (Green, 1972; Летников, 1983; Киркинский, 1992; Klages, 1995; Smith, 1995).

Т.Г. Шумиловой (1996) после детального изучения алмазов месторождения Кумдыкуль было установлено, что среди них широким развитием пользуются скелетные кристаллы, которые значительно отличаются от кимберлитовых. Скелетные кристаллы Кумдыкуля имеют слоистый характер и содержат значительное количество аморфной фазы, многие из этих кристаллов по своим межплоскостным расстояниям относятся к чаоиту, *a* - и /7 - карбину, кубическому графиту и лонсдейлиту. Особенно важным является то, что слоистые алмазы образуют с графитом синтаксиальные срастания и графит сингенетичен скелетным алмазам. Все это подтверждает вывод о том, что алмазы Кумдыкуля образовались не по традиционному механизму перехода графит - алмаз, а за счет массового осаждения из восстановленных флюидов графита с подчиненным количеством тонкодисперсного алмаза, ибо по соотношению графита и алмаза в рудах это прежде всего месторождение графита. Подобные зоны графитизированных бластомилонитов описаны в разных геологических регионах (Летников, 1997), но в них алмаз не установлен, в силу того, что он или не образовывался вообще, или весь перешел в графит. Уникальность графитизированных алмазосодержащих бластомилонитов Кокчетавской глыбы заключается не только в том, что в них вместе с графитом отлагался алмаз, но и в том, что в результате быстрого падения *T* и *P* в сравнительно узких тектонических зонах бластомилонитов процесс перехода алмазов в графит резко затормозился. Поскольку скорость полиморфного перехода алмаза в графит зависит от *T*, то медленное снижение *T* в области стабильности графита, безусловно, привела бы к полному переходу алмаза в графит и его исчезновению, тем более, что речь идет о микрокристаллах размером 20-60 микрон.

В равной мере этот вывод относится и к гипотезе образования тонкодисперсного алмаза за счет субдукции породы коры в мантию до глубин — 150 км, с последующей обдукцией в земную кору. Даже если принять за основу идею о “быстрой обдукции” в 6.2 см/год (Добрецов, 1998), то для возврата в земную кору погруженного на глубину 150 км тектонического клина потребуется около 2.5 млн. лет, когда по самым “холодным” крутонаклоненным геотермам около 1.5 млн. лет обдукция должна проходить в области устойчивости графита. Судя по экспериментальным данным по изучению кинетики перехода алмаза в графит (Howes, 1962; Evans, James, 1964; Evans, 1979; Санин и др., 1995, 1997), скорости перехода при $T > 1000^{\circ}\text{C}$ измеряются в десятках минут, часов, суток или нескольких суток для кристаллов размерностью 0.2- 0.8 мкм, тогда за сотни тысяч лет при температурах, характерных для верхней мантии, кристаллы размером 20-60 микрон не сохраняются и полностью перейдут в графит.

Таким образом, изучение акцессорных минералов месторождения Кумдыкуль в сопоставлении с данными по экспериментальной минералогии, особенности распределения содержаний алмазов и их тесная корреляция с графитизацией, пиритизацией, интенсивностью тектонической нарушенности и метасоматического преобразования пород почти однозначно указывают на то, что образование графит-алмазного месторождения Кумдыкуль произошло в условиях земной коры в пределах узких тектонических зон бластомилонитов под одновременным воздействием двух факторов: глубинных восстановленных флюидов и возникновением в деформируемой породе на свежееобразованных сколах минералов активных точечных центров, на которых и происходило образование микролитов алмазов (Летников, 1983). К аналогичному выводу в свое время пришел С.Е. Хаггерти после обнаружения мелких алмазов в графитовых сланцах (Haggerty, 1981).

Литература

1. Добрецов Н.Л., Теннисен К., Смирнова Л.В. Структурная и геодинамическая эволюция алмазосодержащих метаморфических пород Кокчетавского массива // Геология и геофизика, 1998. Т. 39. № 12. С. 1645-1666.
2. Екимова Т.Е., Лаврова Л.Д., Надеждина Е.Д., Петрова М.А., Печников В.А. Новый тип коренных месторождений алмазов // Руды и металлы, 1992. № 1. С. 69-80.
3. Екимова Т.Е., Лаврова Л.Д., Надеждина Е.Д., Петрова М.А., Печников В.А. Условия образования алмазоносного месторождения Кумдыкуль // Геология рудных месторождений, 1994. Т. 36. № 5. С. 455-565.
4. В.А., Куроедов А.В. Механизмы генерации аномально высоких давлений в литосфере Земли. Новосибирск: ОИГТГиМ, препринт № 6, 1992. 43 с.
5. Лаврова Л.Д., Печников В.А., Петрова М.А., Заячковский А.А. Геология Барчинской алмазоносной площади // Отечественная геология, 1996. № 12. С. 20-27.
6. Лаврова Л.Д., Карпенко С.Ф., Ляликов А.В., Печников В.А., Спиридонов В.Г., Бибикина Е.В., Фузган М.М., Петрова М.А., Екимова Т.Е., Шуколюков Ю.А. Место алмазообразования в возрастной последовательности геологических событий на Кокчетавском массиве по данным изотопной геохронологии // Геохимия, 1997. № 7. С. 675-682.
7. Лаврова Л.Д., Печников В.А., Плешаков А.М., Надеждина Е.Д., Шуколюков Ю.А. Новый генетический тип алмазных месторождений. Москва, Научный мир, 1999. 221 с.
8. Летников Ф.А. Образование алмазов в глубинных тектонических зонах // Докл. АН СССР, 1983. Т. 271. № 2. С. 433-435.
9. Ф.А., Савельева В.Б., Заири Н.М. Эндегенные процессы и графитовая минерализация в Чернорудско-Баракчинской тектонической зоне // Геология и геофизика, 1997. Т. 38. № 3. С. 661-666.
10. Летников Ф.А., Звонкова Н.Г., Сизых Н.В., Данилов Б.С. Акцессорные минералы из эклогитов и алмазоносных пород месторождения Кумдыкуль // Записки ВМО, 1999. Ч. CXXVIII, № 6. С. 16-28.
11. Лось В.Л., Гоберник И.А., Иоффе А.Л. Программный комплекс ELAN // Математические методы решения задач моделирования и прогнозирования в геологии. Алматы, 1994. С. 78-88.
12. Лось В.Л., Розенков В.С., Чевердин В.А. Распределение алмазов на месторождении Кумдыкуль // Геология и разведка недр Казахстана, 1995, 3, С.37-43.
13. Маракушев А.А. Происхождение алмазоносных метаморфических пород Кокчетавского массива в Казахстане // Бюлл. МОИП, отд. геол., 1994. Т. 69. Вып. 5. С. 115-117.
14. Печников В.А. Особенности локализации алмазопоявления в метаморфических породах // Разведка и охрана недр, 1993. № 4. С. 11 -14.
15. Розен О.М., Зорин Ю.М., Заячковский А.А. Обнаружение алмаза в связи с эклогитами в докембрии Кокчетавского массива // Докл. АН СССР, 1972. Т. 203. № 3. С. 674-676.
16. Санин В.М., Афанасьев В.П., Чепуров А.И. Устойчивость алмаза в восстановительных условиях (на уровне буфера ССО) в присутствии силикатного расплава // Материалы по генетической и экспериментальной минералогии. Новосибирск: Изд. ОИГТГМ СО РАН, 1995. Т. 11. С. 98-110.
17. Санин В.М., Жимулев Е.И., Федоров И.И., Осоргин Н.Ю. Травление кристаллов алмаза в силикатном расплаве // Геохимия, 1997. № 4. С. 451-455.
18. В.С., Соболев Н.В. Некоторые аспекты генезиса алмазов в метаморфических породах // Докл. РАН, 1993. Т. 331. № 2. С. 217-219.

19. Шумилова Т.Г. Минералогия скелетных алмазов из метаморфических пород // Сыктывкар: Геопринт, 1996. 40 с.
20. Claoue Long I.S., Sobolev N.V., Shatsky V.S., Sobolev A.V. Zircon response to diamond-pressure metamorphism in the Kokchetav massiv, USSR // *Geology*, 1991. V.9. № 4. P. 710-713.
21. Dobretsov N.L., Shatsky V.S., Sobolev N.V. Comparison of the Kokchetav and Dabie Shan metamorphic complexes: coesit- and diamond-bearing rocks and UHP-HP accretional- collisional events // *International Geology Review*, 1996. V. 37. P. 636-656.
22. Evans T., James P.F. A study of the transformation of diamond to graphite // *J. Proc. Roy. Soc. A*, 1964. V. 277. N 1369. P. 260-269.
23. Evans T. Changes Produced by High Temperature Treatment of Diamond // *The Properties of Diamond*. London. Academic press, 1979. P. 403-424.
24. Green H.W. Metastable growth of coesite in highly strained quartz // *J. Geophys. Res.* 1972. V. 77. N 14. P. 2478-2482.
25. Howes B.V.R. The Graphitization of Diamond // *Proc. Phys. SOC.*, 1962. V. 80. P. 648-662.
26. Haggerty S.E., Toft P.B, Tompkins L.A. Diamonds in graphitic schists // *Trans. Amer. Geophys. Union*. 1981. V. 62. № 17. P. 416.
27. E., Shatsky V.S., Sobolev N.V., Pokhilenko N.P. Pb-Nd-Sr isotopic study of the Kokchetav massiv, the outcrop of the lower lithosphere // *The outcrop of the lower lithosphere*. F.R. Boyd, H.O. Meyer, N.V.Sobolev - eds. Abstracts. Workshop on diamonds (28-th International Geological Congress): D.C. Washington. Cornegie Institution Geophysical Laboratory. 1989. P. 32-35.
28. Klages C.P. Metastable diamond synthesis - Principles and applications // *Eur. J. Mineral*, 1995. V. 7. P. 767-774.
29. Smith D.C. Microcoesites and Microdiamonds in Norway: An Overview // *Ultrahigh pressure metamorphism*: Cambridge. University press, 1995. P. 299-355.

*П.А. Игнатов, К.В. Новиков, Н.Р.Зарипов, М.С. Ходня, А.М. Шмонов,
А.Н Разумов, О.К. Килижеков, О.Е.Ковальчук, С.Г.Кряжжев*
**КОМПЛЕКС НЕТРАДИЦИОННЫХ ПОИСКОВЫХ ПРИЗНАКОВ
КОРЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЙ
НА ЗАКРЫТЫХ ТЕРРИТОРИЯХ**

Введение

Закрытыми территориями считаются такие, в которых поисковые объекты перекрыты чехлом осадочных или вулканогенных отложений мощностью в десятки - сотни метров. В пределах таких площадей расположены основные прогнозные блоки земной коры, которые могут включать месторождения алмазов. Именно на таких площадях с мощностью перекрывающих отложений до 100 м в настоящее время осуществляются поиски месторождений алмазов в Якутии и Архангельском регионе.

В Архангельской области поиск коренных месторождений алмазов дополнительно осложняется слабым эрозионным срезом кимберлитовых трубок, в Якутии – широким проявлением до- и посткимберлитовых траппов и эруптивных образований.

Геологоразведочные работы на закрытых территориях проводятся с использованием геофизических работ, прежде всего, магнито- и электроразведки, и шлихо-минералогических методов. Использование геофизических методов ограничено тем, что кимберлиты, включая и промышленно алмазоносные тела, не всегда имеют контрастные свойства по отношению к вмещающим и перекрывающим породам. Шлихо-минералогические методы характеризуются малым весом и соответствующей небольшой представительностью опробования, выполняемого по керну поисковых скважин. В таких условиях представляется важным выделение и использование комплекса нетрадиционных поисковых признаков как самих кимберлитовых тел, так и геологических структур их вмещающих.

Авторы обнаружили такие признаки и используют их в практике поисковых работ, прежде всего, в Якутии. Максимальный объем фактических данных получен в процессе поисков, оценки и разведки месторождений трубок Ботуобинская и Нюрбинская, дайкового тела Майского и рудных объектов тела Мархинского и Озерного в центральной части осваиваемого промышленностью Накынского поля Средне-Мархинского района Западно-Якутской алмазоносной провинции. В меньшей мере привлечен материал по Мало-Ботуобинскому району Якутии и Зимнебережному району Архангельской алмазоносной провинции.

Ряд признаков получен при изучении керна поисковых скважин и стенок эксплуатационных карьеров. Степень достоверности и обоснованности поискового значения признаков проверялась при анализе данных по разной сети поискового бурения, начиная от 400×400 м до 40×50 м и плотнее, а также при непрерывных наблюдениях вмещающих кимберлиты осадочных толщ по стенками карьеров на трубке Архангельская и Карпинского-I в Архангельской алмазоносной провинции и Нюрбинской трубки в Якутии.

Исследования охватывают тектонические, флюидоразрывные и минералогическо-геохимические признаки геологических структур, вмещающих кимберлиты. Для их эффективного использования необходимо классифицировать поисковые объекты на три ранга: кимберлитовое поле, группа или куст кимберлитовых тел и кимберлитовое тело (трубка, дайка, жила). Каждому рангу поискового объекта по нашим данным соответствует блок вмещающих кимберлиты осадочных пород разного объема, в котором проявлены своеобразные геологические образования, сопровождающие кимберлиты (таблица 1). Четкой границы между указанными рангами не существует и переход от одного к другому не всегда очевиден.

Таблица 1. Геологические признаки разноранговых кимберлитовых объектов.

Ранг объекта	Тектонические	Магматические	Гидротермальные изменения и новообразования
Поле	Узлы пересечения зон разломов I - II порядков, в том числе поясов даек траппов.	Ареалы эруптивных брекчий базитов, флюидоразрывных брекчий, флюидизитовых прожилков.	Ареалы развития скарнов и вторичной минерализации.
	Структуры центрального типа. Палеосейсмогенные дислокации.		
Куст	Зоны влияния сдвигов III-IV порядка (рудоконтролирующие структуры).	Центральная часть ареала эруптивных брекчий базитов и других флюидизитовых образований.	Очаги разгрузки высокотемпературных вод в виде проявлений гидротермальной минерализации барита, сфалерита, кальцита с красной и голубой фотолуминесценцией, легким изотопным составом углерода.
Тело	Зоны присдвигового растяжения в рудоконтролирующих структурах.	Участки интенсивного проявления флюидоразрывных образований, связанные с рудоконтролирующими структурами. Проявления ореолов импрегнированных газов во вмещающих породах.	Локальные очаги разгрузки высокотемпературных вод внутри рудоконтролирующих структур, выраженные в минералого-геохимических и изотопно-геохимических параметрах.
	Взрывные деформации вмещающих пород, фиксируемые по структурно-петрофизическим данным.		

Как видно из таблицы, они включают признаки тектонических нарушений, взрывных образований и очагов разгрузки гидротерм и высокотемпературных газов. Указанные в таблице признаки являются обобщенными. Их конкретные выражения могут быть зафиксированы разными методами, в том числе и при специальной документации керна буровых скважин.

Признаки кимберлитовых полей

Геологические объекты, соответствующие кимберлитовым полям, представляются как узлы пересечения разломов I - II порядков или структуры центрального типа размерами в десятки – первые сотни квадратных километров, в которых локализованы сопоставимые ареалы эруптивных, флюидоразрывных и палеосейсмогенных образований.

На примере Накынского кимберлитового поля показано, что оно локализовано в узле пересечения региональных Вилуйско-Мархинской и Средне-Мархинской зон разломов, каждая из которых выражена поясами даек и силлов среднепалеозойских

траппов (рис. 1). Они отчетливо устанавливаются по данным аэромагнитной съемки и заверены редкой сетью бурения. В рассматриваемом поле, как и в ряде других полей Якутии, цепочки алмазонасных тел кимберлитов расположены вдоль линии рудоконтролирующего разлома, названного Диагональным. Такое же расположение имеют кимберлиты месторождения имени М.В.Ломоносова в Архангельской субпровинции.

Кимберлиты в пределах районов их распространения могут иметь и мозаечное распределение, слагая структуры центрального типа, которые устанавливаются по интерпретации космоснимков [Серокуров и др., 2001].

Такого типа структуры картируются и по анализу поверхностей структурно-стратиграфических несогласий, которые по времени максимально приближены к эпохе внедрения кимберлитов. Так, например, отчетливо выделяется структура центрального типа в поверхности венда-кембрия, перекрытой каменноугольными отложениями в пределах Кепинской площади Зимнебережного района Архангельской области (рис. 2).

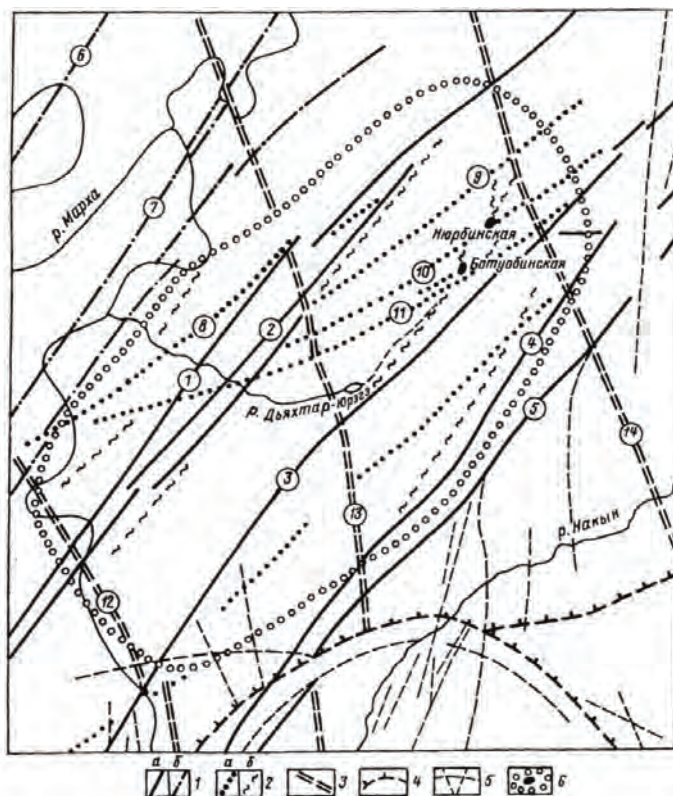


Рис. 1. Накынского поля в узле пересечения Вилуйско-Мархинской и Средне-Мархинской зон глубинных разломов [Зуев и др., 1998].

1 - 2 - разломы Вилуйско-Мархинской тектонической зоны северо-восточного простирания, выполненные дайками траппов: 1 - I порядка, а - центральной части зоны, б - фланговых ветвей зоны; 2 - II-III порядка: а - кимберлитоконтролирующие; б - предполагаемые рудовмещающие, скрытые, фрагментарно-выраженные в геофизических полях; 3 - разломы Средне-Мархинской тектонической зоны северо-западного простирания; цифры в кружках - конкретные разломы, имеющие географические названия; 4 - контуры силлов среднепалеозойских траппов на разных уровнях 5 - их кольцевые и радиальные апофизы даечного типа; 6 - кимберлитовые трубки и вероятный контур кимберлитового поля.

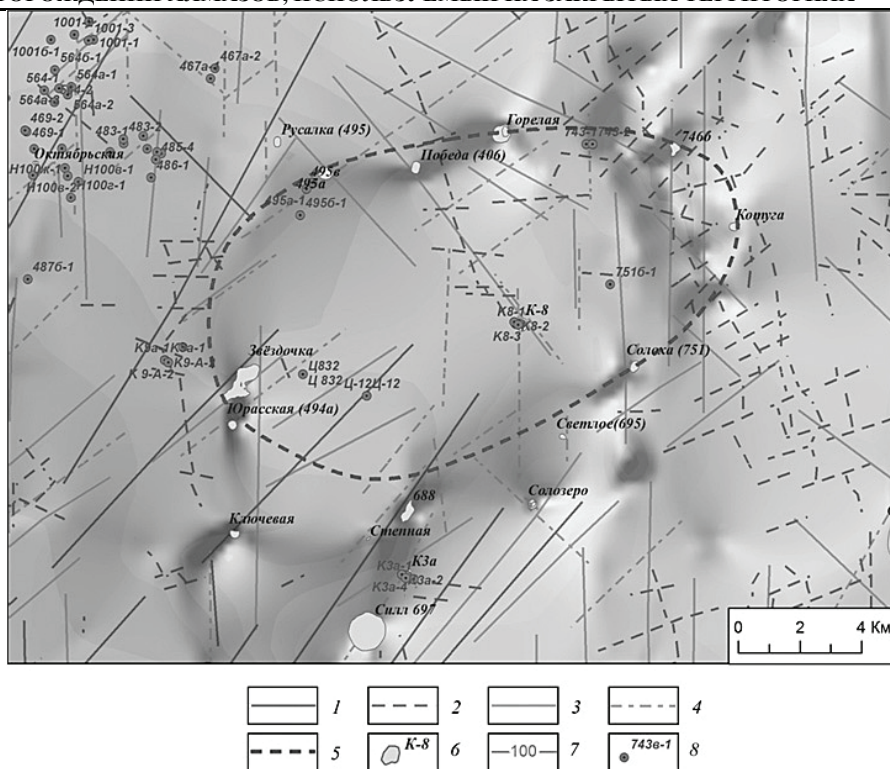


Рис. 2. Структура центрального типа в восточной части Кепинской площади, выраженная в поверхности кровли венд-кембрия и по геофизическим данным.

1 – 4 – разломы, выделенные по геофизическим данным Б.А.Калмыковым: 1 – в фундаменте по магнитометрии, 2 – в осадочном чехле по магнитометрии; 3 – в фундаменте по гравиметрии; 4 – по стратонизогипсам кровли венд-кембрия; 5 – предполагаемый контур структуры центрального типа; 6 – известные кимберлитовые тела, 7 – стратонизогипсы кровли падунской свиты (показаны оттенками); 8 – поисковые скважины.

Видно, что большинство кимберлитовых тел тяготеет к условным границам овальной структуры с размерами порядка 6×18 км.

Яркими признаками кимберлитовых полей являются *эруптивные брекчии базитового состава*. Разные исследователи их называют туфобрекчиями или взрывными брекчиями. Они отличаются: повышенным содержанием щелочей; брекчиевой и брекчиевидной текстурами; присутствием в составе обломков долеритов и карбонатных пород нижнего палеозоя; каймами закалывания, гематитизации, хлорита и карбонатизации вокруг обломков основных пород; наличием в хлорит-карбонатном цементе и среди остроугольных обломков плохо раскристаллизованного стекла гиаллопилитовой структуры (рис. 3, рис. 4).

Наиболее полно такие брекчии изучены в Накынском и Мирнинском алмазоносных полях Якутии [Игнатов и др., 2010, Киселев и др., 2004, 2006, 2009, Копылова и др. 2005 и др., Томшин и др., 1998]. Предположительно они слагают изометричные в плане и, вероятно, крутопадающие столбообразные тела, которые в поперечном сечении достигают первых сотен метров. Так, на одном из участков Накынского поля брекчии были вскрыты двумя скважинами, расстояние между которыми составляло 100 м. Такие тела, очевидно, сопровождаются маломощными апофизами, поскольку в керне встречены в виде крутопадающими интервалов и прожилковых выделений мощностью до нескольких сантиметров.

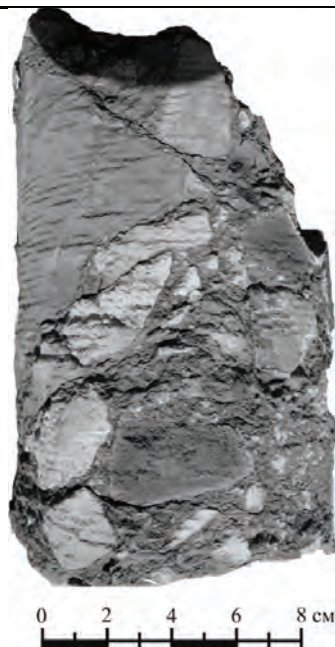


Рис. 3. Эруптивная брекчия щелочных базитов с каймами осветления по обломкам долеритов. Фото штуфа из скв. 518-445 с глубины 124 м.



Рис. 4. Базальтоидная взрывная брекчия. Остроугольные обломки долеритов (1) с кальцитовыми оторочками и вулканического стекла (2) с каймами гематитизации расположены в хлорит-карбонатном цементе. Фото прозрачного шлифа ув. 30^x, николи ||, обр. из скв. 562-438/6 с глубины 125,5 м.

Считается, что в кимберлитовых полях сначала внедрились субщелочные долериты силлов и даек среднепалеозойских траппов. Затем формировались кимберлиты, в которых имеются обломки долеритов. Брекчии щелочных базитов формировались на завершающей стадии среднепалеозойского этапа активизации [Томшин и др., 1998, Киселев и др., 2006].

В пределах центральной части Накынского поля базитовые трубки взрыва относительно широко распространены, однако, они зафиксированы лишь в 58 из более 1800 представительных разрезов по скважинам. Брекчии щелочных базитов

КОМПЛЕКС НЕТРАДИЦИОННЫХ ПОИСКОВЫХ ПРИЗНАКОВ КОРЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЙ НА ЗАКРЫТЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

локализованы в осевых частях крупных разломов, либо в оперяющих их нарушениях и в большинстве случаев приурочены к приконтактовым частям даек долеритов (рис. 5). Абсолютное большинство находок рассматриваемых брекчий приурочено к зонам влияния северо-восточных Вилуйско-Мархинской и в меньшей мере северо-западных разломов Средне-Мархинской тектонических зон. Некоторые из них не ассоциируют с дайками долеритов и пространственно связаны с кимберлитовыми телами.

В Накынском поле брекчии базитов группируются в эллипсовидный ареал с параметрами 20×8 км с длинной осью, вытянутой на северо-восток вдоль Диагонального разлома, контролирующего положение всех известных тел кимберлитов (рис. 5). Все известные тела кимберлитов локализованы в центральной части данного ареала базитовых брекчий. Совместно с базитовыми брекчиями кимберлиты формируют своеобразную структуру центрального типа.

Подобные флюидовзрывные образования обнаружены и в Мирнинском кимберлитовом поле (трубки Маар-Сизэнэ, Ан 446, Лиственичная и др.), расположенном более чем в 300 км на юго-запад от Накынского. Здесь также отмечен широкий эллипсовидный ареал брекчий базитов, в центральной части которого локализованы кимберлитовые трубки и дайки (рис. 6). В сравнении с Накынским полем Мирнинское значительно больше по площади соответственно больше и ареал брекчий базитов. Однако кимберлиты относительно брекчий базитов имеют похожее центростремительное расположение.

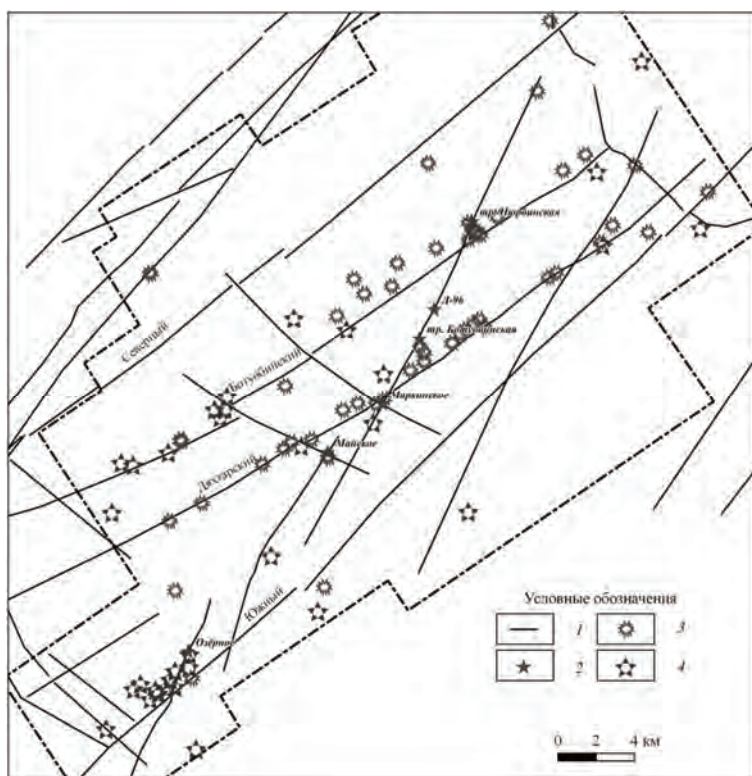


Рис. 5. Ареал распространения брекчий щелочных базитов и карбонатных брекчий Накынского поля.

1 – зоны разломов, выделенные по геофизическим и геологическим данным и бурению, 2 – кимберлитовые тела, 3 – проявления брекчий щелочных базитов в скважинах, 4 – проявления карбонатных брекчий.

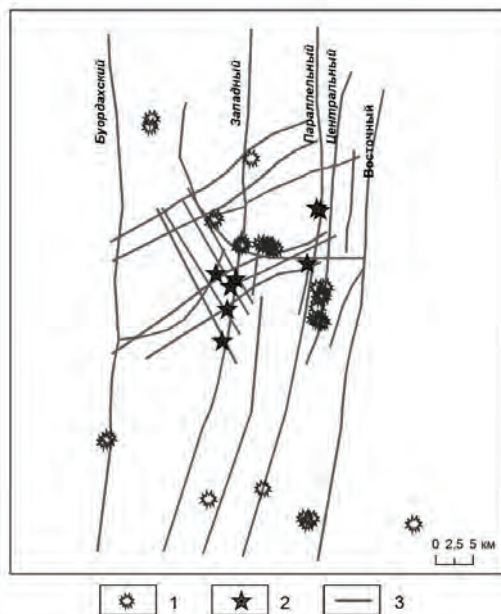


Рис. 6. Ареал распространения брекчий щелочных базитов Мирнинского поля [по Харьков и др., 1998; Граханов и др., 2007].

1 – проявления брекчий щелочных базитов, 2 – кимберлитовые тела, 3 – разрывные нарушения.

В качестве поискового признака поля представляют интерес *брекчии карбонатных пород*. Макроскопически они имеют сходство с кимберлитовыми брекчиями, содержащими 1-5% минералов кимберлитов и встречаются в непосредственной близости от кимберлитов. Наиболее хорошо они изучены в Накынском поле Якутии. Рассматриваемые брекчии с обломками осадочных карбонатных пород нижнего палеозоя и глинисто-карбонатным цементом имеют ряд признаков, которые указывают на их флюидоразрывной генезис:

- неоднородный состав обломков, включающий различные по слоистости и структуре известняки, доломиты и мергели, которые представляют фрагмент местного разреза (локального стратиграфического горизонта) ордовика и реже кембрия; этот признак может характеризовать и тектонические брекчии, хотя в случае флюидоразрывов интервал разреза шире; для тектонических брекчий характерны уплощенные обломки, расположенные вдоль разрывного нарушения, кроме того, ближе к разлому размер обломков закономерно уменьшается, переходя в милонит;
- присутствие не только угловатых, но и угловато-округлых и округлых обломков разного размера от 10-12 см до мелкого гравия (рис. 7), округлость обломков, вероятно, указывает на их механическую обработку в процессе газового воздействия;
- наличие в цементе неравномерной примеси песчаных зерен в количестве до первых процентов кварцевого состава с примесью калиевого полевого шпата, светлой слюды;
- в ряде случаев имеют место каемки осветления вокруг обломков, что может указывать на воздействие горячих флюидов (газов) и соответствующую перекристаллизацию карбонатных пород;

- пространственная связь брекчий с прожилками, также содержащими мелкие обломки карбонатных пород, и относимыми нами к флюидизитам;
- в образцах, отобранных из цемента карбонатных брекчий и отмеченных флюидизитовых прожилков, выявлено значительное количество (от первых процентов до 32%) рентгеноаморфного вещества. Это установлено по рентгенофазовым и термографическим анализам, выполненным в НИГП АК «АЛРОСА» Л.В. Лисковой; наличие рентгеноаморфной фазы может указывать на присутствие вулканического стекла, которое в больших количествах присутствует в газоразрывных и флюидизитовых образованиях;
- мощности интервалов брекчий составляют от дециметров до нескольких и более метров, контакты их часто разбурены, когда встречаются, то отчетливые; тектонических границ не наблюдается.

По вертикали брекчии флюидоразрыва охватывают верхнюю часть нижнепалеозойской толщи. В какой-то мере этот интервал соответствует вертикальному распространению вторичного кальцита в виде прожилков и друз, составляя в среднем порядка 100 м от поверхности карбонатного цоколя.

В хорошо изученном Накынском поле карбонатные брекчии флюидоразрыва распространены также широко, как эруптивные брекчии базитов (рис. 5), что определяет их поисковое значение.

Флюидизитовые прожилки встречаются чаще, чем брекчии карбонатного состава. Они сложены мелкозернистым агрегатом непрозрачного кальцита или (и) доломита с примесью до 7-10% песчаного материала, представленного кварцем, кварцитами, полевыми шпатами, в меньшей мере, дисперсной рентгеноаморфной фазой, хлоритом и серпентином. Прожилки мощностью до первых сантиметров, как правило, субвертикальные и выполняют трещины отрыва, реже скола. Об эндогенных условиях образования флюидизитовых прожилков свидетельствуют: агрессивность к зернам кварца и полевым шпатам доломита; директивное вдоль границ прожилка распределение песчаных зерен; планарные микротрещины зерен кварца; часто их оскольчатая форма, напоминающая кристаллокласты туфов; микровыделения дисперсной рентгеноаморфной фазы.

Флюидизитовые прожилки пространственно ассоциируют с брекчиями карбонатных пород, эруптивными брекчиями базитов и кимберлитами. В Накынском поле они занимают обширный ареал, маркируя по сгущениям основные тектонические нарушения.

Палеосейсмогенные дислокации в породах венда-кембрия обнаружены в Зимнебережном районе Архангельской области и кембрийских разрезах Средне-Мархинского района Якутии. Они выражены: слоями брекчиевидных пород, содержащих обломки с вязко-пластическими деформациями (рис. 8), которые не обусловлены литогенетическим рядом отложений; оползневыми текстурами; крупными текстурами взмучивания древних осадков.



Рис. 7. Брекчия флюидоразрыва с карбонатными обломками с каймами осветления и кальцитом. Присутствует мелкозернистый пирит. Сква. 504-1, глубина 152,7 м.



Рис. 8. Палеосейсмогенные брекчии в кембрийских алевролитах Накынского поля Якутии. Скважина СР-39-19, глубина 370 м.

Такие текстуры являются характерными для современных осадков в областях влияния сейсмоактивных разломов [Палеосейсмология, 2011].

Признаки кимберлитовых кустов

Как показано выше на примерах Накынского и Мирнинского полей, тела алмазонасных кимберлитов и их группы располагаются в центральных частях ареалов эруптивных брекчий базитов и флюидоразрывных прожилковых и брекчиевых образований.

Сложнее обстоит дело с тектоническими признаками. Многолетняя практика поисковых работ в Якутии и Архангельской области показала, что кусты кимберлитов локализованы в скрытых тектонических нарушениях *в виде зон влияния сдвигов 3-4 порядка* [Игнатов, 2010, 2016].

Проявления сдвигов устанавливаются по структурно-динамической интерпретации данных магнитометрии, когда видны явные сдвиги нарушений, выполненных дайками траппов. Так, в Накынском и Мирнинском полях Якутии дайки основного состава средне-палеозойского этапа активизации выполняют докимберлитовые разломы рифтовых зон [Коробков, 2015, Милашев, 1990, Щукин и др., 1972]. Кимберлиты формировались в условиях регионального сжатия и проявлений сдвиговой тектоники [Божевольный и др., 1998, Бушков, 2006, Зуев и др., 1998, Тирский, 1998].

Сдвиговые зоны 3-4-го порядка, контролирующие кусты кимберлитов Золотицкого поля Архангельской области, устанавливаются по данным структурно-морфологического анализа поверхности предкаменноугольного несогласия и разломов фундамента, выделенных по геофизическим материалам (рис. 9).

Видно, что большинство кимберлитовых кустов локализовано в зонах крупных флексурных изгибов магистральных сдвигов.

Второй пример локализации нескольких кимберлитовых кустов в зоне сдвига Диагонального разлома представляет собой центральная часть Накынского поля (рис. 10). Это нарушение плохо выделяется в геофизических полях и откартировано по результатам специальной документации керна поисковых скважин. При этом фиксировались признаки микродеформаций сдвигового происхождения.

Кусты кимберлитов отражаются и по *древним очагам разгрузки высокотемпературных вод*. Это можно показать на примере центральной части Накынского поля. Здесь широко распространены прожилки кальцита. Относительно высокотемпературные кальциты отличает облегчение изотопного состава кислорода, красная и голубая, реже белая с высокоэнергетическим спектром фотолуминесценция [Штейн, 1996, Шмонов, 2015]. Картирование кальцитов с красной и голубой

фотолуминесценцией фиксирует зоны разломов, которые были активными во время формирования кимберлитов. Кроме того, вблизи кимберлитовых кустов намечается более интенсивное проявление прожилков барита и метазернистого пирита.

Признаки кимберлитовых тел

Главной задачей при поисках коренных алмазных месторождений является обнаружение кимберлитовых трубок или даек. Известно, что эта задача весьма сложная, особенно на закрытых территориях, где обнаружение ведется только по данным бурения. При этом надо иметь в виду, что лишь 1-3% кимберлитов оказываются промышленно алмазоносными. Иногда этот процент в разы выше, как например, в Мирнинском и Накынском алмазоносных полях Якутии.

Изучение и специальная документация керн вертикальных и наклонных поисковых и разведочных скважин, пройденных в центральной части Накынского поля, анализ созданной базы данных в геоинформационной среде, включающей тектонические и минералого-геохимические данные, позволил установить ряд признаков локальных участков, вмещающих алмазоносные кимберлиты.

Тектонические признаки включают, прежде всего, микродеформации сдвиговой природы: микровзбросы, зеркала скольжения с горизонтальными бороздами, расланцевание, микроскладки волочения, S или Z формы прожилковой минерализации, микротекстуры развальцевания оолитов, милониты и др. (рис. 11, рис. 12).



Рис. 9. Предполагаемые магистральные разломы сдвиговой природы III-IV порядка и сопровождающие их мелкие нарушения венд-кембрийского чехла центральной части Зимнебережного района. 1 – кимберлитовые трубки; 2-3 – разломы выделенные в чехле по кровле венда: 2 – магистральные разломы; 3 – прочие разломы; 4 – 5 – сдвиговые разломы, выделенные Б.А.Калмыковым по анализу 4 – магнитного поля; 5 – гравитационного поля.

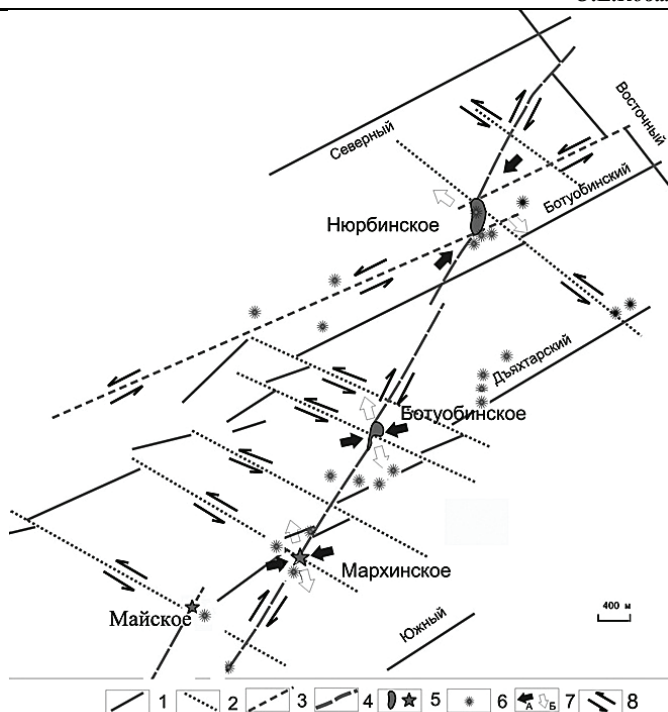


Рис. 10. Тектоно-динамическая схема центральной части Накынского поля. Локализация алмазоносных тел в узлах пересечения скрытых сдвигов, pullapart и аккомодации. 1 – дайки траппов Вилуйско-Мархинской зоны разломов; 2 – поперечные кимберлитоконтролирующие сдвиги; 3 – продольные кимберлитоконтролирующие левые сдвиги; 4 – Диагональный рудовмещающий правый сдвиг; 5 – кимберлитовые тела (для даек показаны их центры); 6 – эруптивные брекчии щелочных базитов; 7 – предполагаемое положение осей сжатия (а) и растяжения (б) в проекции на горизонтальную плоскость; 8 – предполагаемое смещение берегов разрывов.

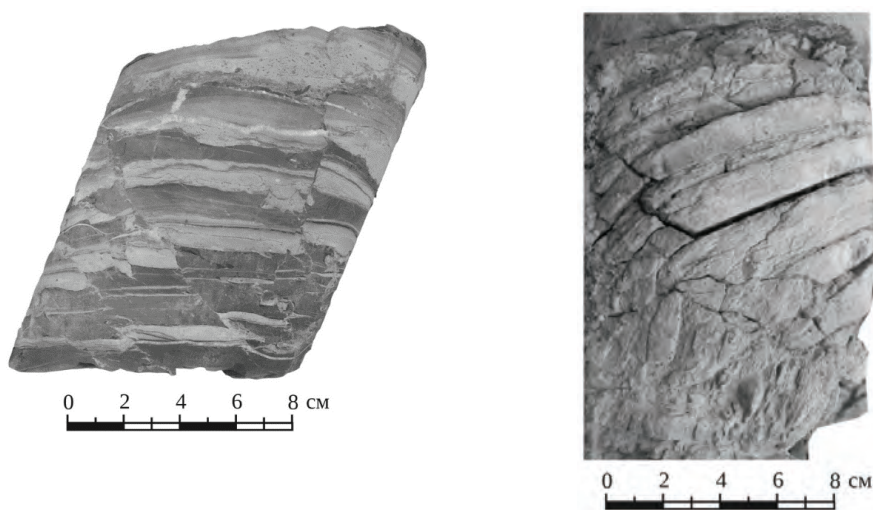


Рис. 11. Текстуры микровзбросов и микроскладки волочения в известняках и доломитах, вмещающих кимберлиты.



Рис. 12. Зона расланцевания в пелитоморфных доломитах. Скв. 840-5, глубина 68 м, диаметр керна 10 см.

Кроме признаков сдвига, в рассматриваемых разрезах осадочных пород нижнего палеозоя часто фиксируются признаки растяжения в виде: микросбросов, зеркал скольжения с крутопадающими, реже пологими бороздами скольжения, тектонических брекчий, кальцитовых и кальцит-пиритовых, баритовых и целестиновых прожилков, выполняющих трещины отрыва, интенсивный тектоно-эрозионный карст и пр. В большинстве случаев эти признаки маркируют разломы докимберлитового этапа регионального растяжения, когда внедрялись силлы и дайки траппов.

Комплекс признаков сжатия и растяжения установлен во фрагментах Диагонального рудоконтролирующего разлома, вмещающих тела кимберлитов.

Сдвиговая природа разломов вмещающих кимберлитовые трубки, дайки и жилы, в модельном отношении позволяет рассматривать три варианта локальных зон растяжения: pull apart, кулисных окончаний разломов (аккомодации) и узлы пересечения разнонаправленных и разновозрастных разломов. Для каждого из них характерен свой ансамбль микродеформаций.

Отмеченные структурные позиции установлены по детальному картированию участков кимберлитовых тел в Накынском поле. Хорошим примером в этом отношении является локализация алмазоносной дайки Майского месторождения, которая приурочена к узлу пересечения разных разломов сдвиговой природы (рис. 13). На данном участке с учетом сети наблюдений проведена количественная оценка зон растяжения-сжатия [Игнатов и др., 2015].

Похожую позицию занимает трубка Архангельская, входящая в линейный куст трубок месторождения им. М.В.Ломоносова. Здесь также по наблюдениям в стенках карьера установлен узел пересечения разных разломов, в том числе по северо-западному левому сдвигу (рис. 14).

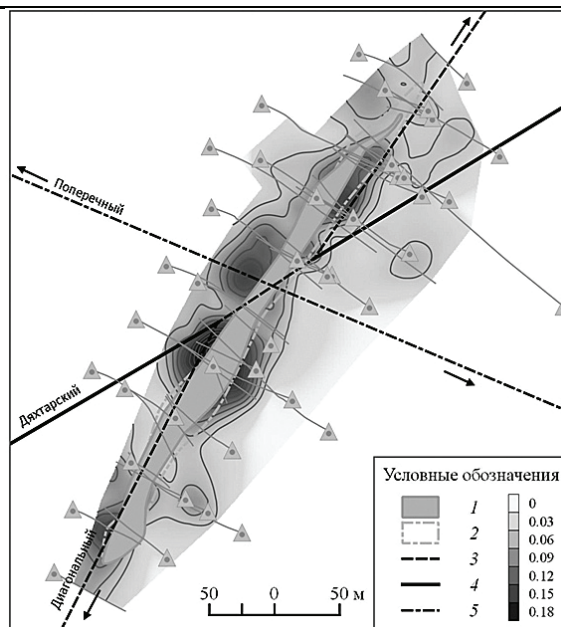


Рис. 13. Рудовмещающая структура Майского месторождения алмазов с проложениями разведочных скважин.

1 – сечение кимберлитового тела, горизонт с отметкой +165 м, 2 – контур кимберлитового тела, горизонт с отметкой +65 м; 3-5 – проекции основных швов разломов: 3 – Диагонального; 4 – Дьяхтарского, 5 – Поперечного. Шкалой серого цвета показана плотность признаков растяжения.

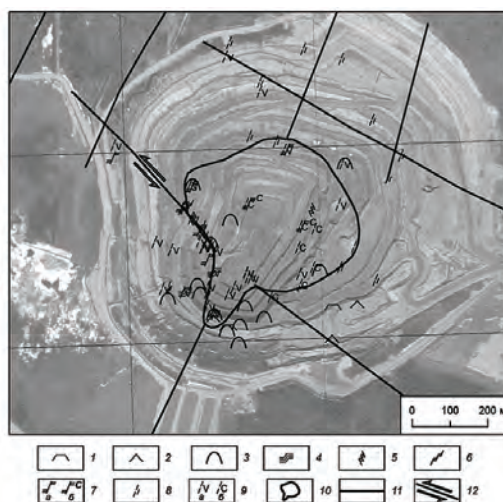


Рис. 14. Структурная карта тр. Архангельская. 1-4 – признаки складчатых деформаций: 1 – коробчатые антиклинали, 2 – клиновидные антиклинали, 3 – простые антиклинали, 4 – флексуры; 5-9 – признаки разрывных нарушений: 5 – системы микровзбросов; 6 – системы микросбросов; 7 – микросбросы во вмещающих породах венда (а) и перекрывающих карбона (б), 8 – серии сближенных крутопадающих трещин; 9 – тектонические трещины во вмещающих породах венда (а) и перекрывающих карбона (б); 10 – контур трубки Архангельская под чехлом перекрывающих отложений; 11 – разломы; 12 – разломы с достоверно выделенными сдвиговой составляющей и направлением смещения.

Характерной позицией в кулисных окончаниях сдвигов обладают алмазоносные тела Накынского поля (рис. 10). На этом основан локальный прогноз новых кимберлитовых тел (рис. 15).

С отмеченной тектоно-динамической позицией кимберлитов совмещаются участки флюидоразрывных образований в виде эруптивных брекчий базитов, карбонатных брекчий и флюидизитовых прожилков (рис. 16).

На таких участках также имеются *проявления локальных очагов разгрузки палеогидротерм*. Они выражены ореолами: прожилков с друзами барита; прожилков с целестином; больших интервалов экстенсивной пиритизации; прожилков сфалерита; совмещенными ореолами прожилков кальцита с красной и голубой фотолюминесценцией; облегченным изотопным составом углерода и кислорода кальцитов; газожидких включений в кальцитах высокотемпературных опресненных флюидов; прожилково-метазернистым осветлением первично красноцветных пород; концентрационными ореолами высокотемпературного углекислого газа.

Покажем некоторые из названных признаков на примере Майского месторождения. Так, по первому эшелону наклонных разведочных скважин была установлена баритовая минерализация и прожилковое осветление в осадочных породах ордовика и кембрия, вмещающих алмазоносную дайку кимберлитов. Эти образования слагают экзоконтактовые ореолы кимберлитовой дайки и распространяются на многие десятки метров от ее боков.

Локальные ореолы кальцитов с разной фотолюминесценцией (ФЛ) отчетливо разделяют северо-восточный и юго-западный фланги Майского месторождения. На северо-востоке месторождения, где сосредоточены основные его запасы, кальциты с красной и голубой фотолюминесценцией практически совмещены и вкладываются в ореол фиолетовой ФЛ (рис. 17). Кальциты с желтой ФЛ слагают более широкий ореол.

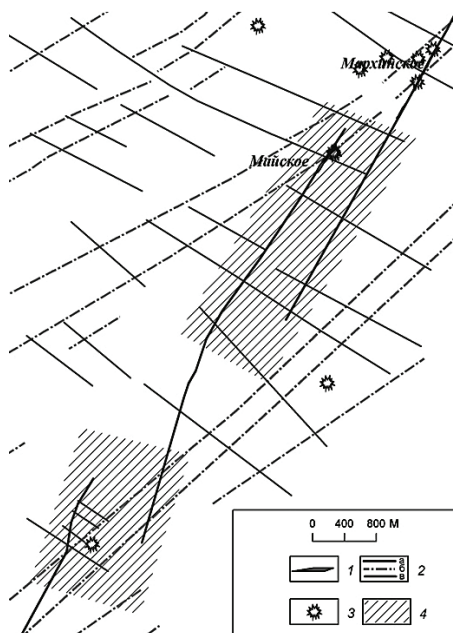


Рис. 15. Позиция алмазоносных даек кимберлитов в зонах кулисного окончания отдельных швов сдвиговой зоны Диагонального разлома н в Накынском поле.

1 - кимберлитовые дайки; 2 - разломы: а - Диагонального нарушения, контролирующего кимберлита; б - Вилуйско-Мархинской зоны, выполненные дайками траппов; в - поперечных сдвигов; 3 - эруптивные брекчии базитов; 4 - зоны аккомодации, перспективные для обнаружения кимберлитов.

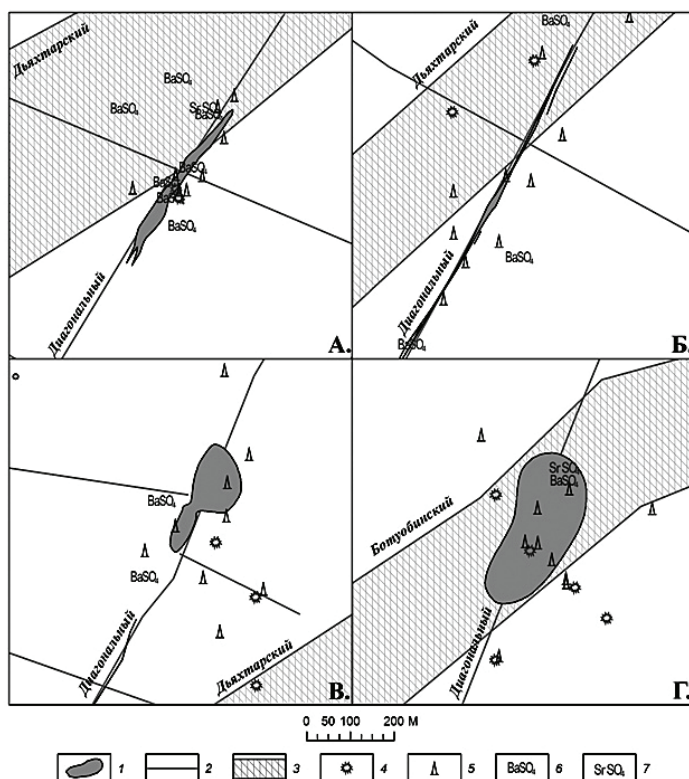


Рис. 16. Локальные ореолы флюоритов, эруптивных брекчий щелочных базитов и баритов около кимберлитовых даек и трубок

1 – известные кимберлитовые тела, 2 – осевые части разломов, 3 – зоны влияния крупных разломов, 4 – проявления брекчий щелочных базитов, 5 – флюориты, 6 – барит, 7 – целестин.

Надо отметить, что красная и голубая фотолюминесценция кальцитов, обусловлена примесью соответственно марганца и редких земель и, вероятно, отражает участие глубинных флюидов в образовании кальцитов [Игнатов, 2010, Новиков, 2010, Шмонов, 2015].

Это находит подтверждение в распределении во вмещающих кимберлиты осадочных породах импрегнированного высокотемпературного углекислого газа [Игнатов и др., 2014, Шмонов, 2015].

Анализы по содержанию CO_2 и углеводородов во вмещающих кимберлиты осадочных карбонатных породах выполнены на хроматографе Agilent 6890 (США) с пламенно-ионизационными детекторами (FID) и катарометром (TCO) (аналитик Ю.В.Васюта). Для одновременного анализа углеводородов и углекислоты хроматограф снабжен делителем потока. Используются трехметровые металлические набивные колонки. Углеводородные газы (от CH_4 до C_5H_{12}) разделяются на колонке, заполненной модифицированной окисью алюминия, и определяются детектором FID. Содержание CO_2 и H_2O определяется на колонке, заполненной «Полисорбом-8», детектором TCD. В качестве газа-носителя в хроматографе применялся гелий (полный поток 70 мл/мин). Температура термостата колонок задается программно и меняется от 50° до 170°C . Весь ход анализа, измерения и расчеты результатов осуществляются в автоматическом режиме штатной программой прибора.

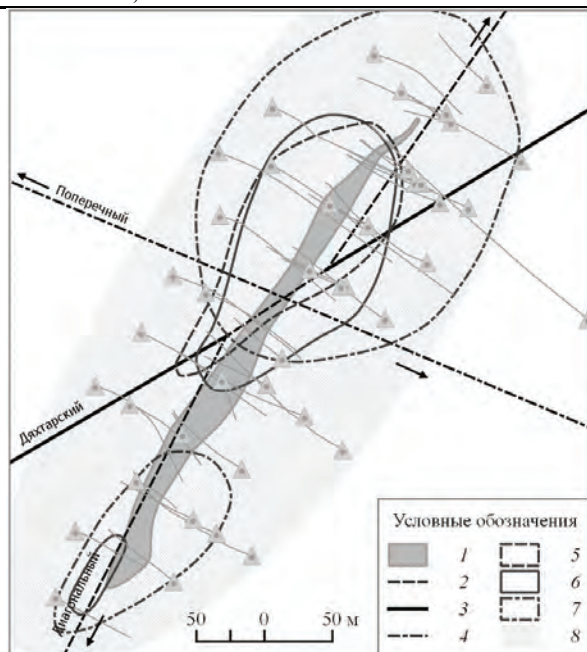


Рис. 17. Ореолы распределения фотолуминесценции кальцитов во вмещающих породах Майского тела.

1 – сечение кимберлитового тела, горизонт с отметкой +165 м, 2-5 – проекции основных швов разломов: 2 – Диагонального; 3 – Дяхтарского, 4 – Поперечного; ореолы фотолуминесценции кальцитов, 5 – голубой, 6 – красной и розовой, 7 – фиолетовой, 8 – желтой.

Предварительная подготовка проб заключалась в дроблении и отсеивании фракции $-0.5+0.25$ мм, промывке и высушивании при 120°C . Дегазация и газохроматографический анализ проводились после ввода пробы в предварительно нагретый реактор. Установлено, что выход газовой фазы плавно возрастает до 350°C , а затем лавинообразно увеличивается. Именно такие концентрации углекислого и углеводородных газов авторы называют импрегнированными.

Концентрации такой CO_2 по всем гипсометрическим уровням повторяют контур кимберлитовой дайки. Более высокие содержания CO_2 характерны для северо-восточного наиболее продуктивного участка Майского месторождения (рис. 18). Характерно, что именно на этом участке снизу вверх увеличивается концентрация во вмещающих породах импрегнированного углекислого газа (рис. 18). Эти данные по нашему мнению указывают на существование на северо-востоке Майского месторождения канала поступления кимберлитовой магмы.

О разгрузке флюидов и гидротерм указывают данные по газожидким включениям во вторичных кальцитах. По серии образцов проведены термо- и криометрические исследования включений в кальцитах. Аналитические работы выполнены по стандартным методикам главным образом в лаборатории ИГЕМ РАН (аналитики Иванченко М.М., Крылова Е.В., Клубникин Г.К.) и, частично, в лаборатории МГРИ-РГГРУ (аналитик Морозова К.А.). Флюидные включения (ФВ) исследовались методом микротермометрии на термोकриокамере Linkam THSMG-600 (Англия) с длиннофокусным объективом x50 фирмы Олимпус (Япония). По многим десяткам замеров установлены низкие, средние, высокие температуры гомогенизации во первично-вторичных, вторичных и псевдовторичных включениях размерами от 5 до 30 мкм.

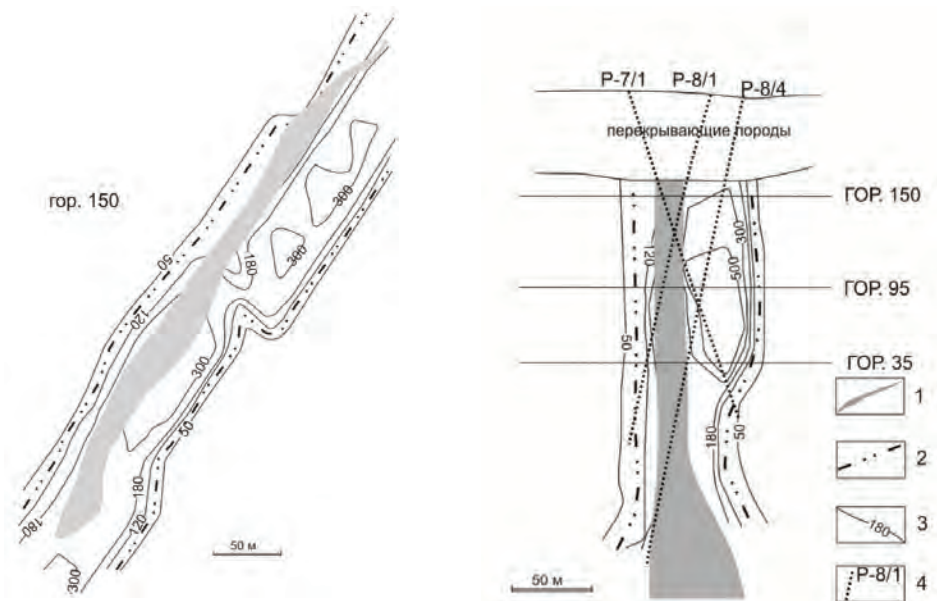


Рис. 18. Изолинии содержаний CO_2 (мл/кг) на Майском месторождении по горизонту 150 м в широтном разрезе по северо-восточному участку.

1 – контур кимберлитового тела; 2 – минимальное anomальное содержание CO_2 (66 мл/кг); 3 – изолинии (мл/кг) содержаний импрегнированного CO_2 ; 4 – положение разведочных скважин (на разрезе).

По параметрам газожидких включений кальциты из околокимберлитового пространства отличаются от таковых из поисковых участков двумя характеристиками. Во-первых, присутствием высокотемпературных (300-360°C) включений. Во-вторых, присутствием включений с большим разбросом температур гомогенизации и разной минерализации растворов, что отражает телескопирование разных условий гидротермального образования кальцитов.

Надо отметить два противоположных тренда: падение минерализации с ростом температуры гомогенизации более 200°C; увеличение минерализации при росте температуры гомогенизации от 90°C. Первый тренд может отражать опреснение гидротерм, обусловленное участием водяного пара, формирующегося из диссоциата (H^+ - OH^-) над флюидизированной магмой при *фреатическом взрыве*, как предполагают [Махоткин, 2007 и др.], сопровождавшем становление кимберлитов. На это также указывает обособленная группа включений с относительно низкой минерализацией. Противоположный тренд следует считать отражением подтока горячих глубинных более минерализованных формационных вод с последующим участием опресненных метеорных вод при остывании углекислых газогидротерм.

О разгрузке флюидов также свидетельствуют данные по изотопному составу кислорода и углерода вторичных кальцитов (таблица 2).

Кальциты из прожилков анализировались по общепринятой методике [Фор, 1989]. В качестве лабораторного стандарта при измерениях использован международный стандартный образец КН-2 (аттестованные значения $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} + 1.97$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}} + 27.8\%$). Воспроизводимость измерений величин составила $\pm 0.2\%$. Аналитик С.Г.Кряжев.

Таблица 2. Результаты изотопного анализа кальцитов Майского месторождения.

Скважина	Глубина, м	Характеристика	δC^{13} , ‰	δO^{18} , ‰
P-10/1	175,5	Прожилок кальцита	-9,1	16,0
ШМ-10	135	Прожилок, кристаллы до 0,5 мм	-11,4	16,6
P-9/1	149,5	Прожилок кальцита	-6,4	15,5
ШМ-3	134	Прожилок кальцита	-1,1	14,7
ШМ-3	161	Прожилок кальцита	-45,7	15,3
P-8/1	102,7	Прожилок кальцита	-5,9	16,9
P-8/1	143	Кальцитовая друза	-32,2	15,5
P-8/2	109,5	Прожилок кальцита	-6,8	14,6
P-8/2	131	Прожилок кальцита	-5,2	17,1
ШМ-9	363	Прожилок кальцита	-0,4	22,7
ШМ-9	463	Прожилок кальцита	0,8	22,3
ШМ-7	154,5	Прожилок кальцита	-3,3	16,9
ШМ-2	120	Прожилок кальцита	-9,1	18,7
ШМ-2	126,7	Прожилок кальцита	-10,9	15,1
ШМ-2	135	Жеода кальцита	-19,6	15,6
ШМ-1	163	Жеода	-15,4	13,7
P-3/2	95	Друзовой кальцит	-6,4	16,1
ШМ-8	99	Прожилок кальцита	-6,8	15,6

Небольшие колебания изотопного состава кислорода вторичных кальцитов в большей части проб свидетельствует о том, что кристаллизация этого минерала происходила при близкой температуре из одного минералообразующего раствора. Резкие локальные вариации изотопного состава углерода и аномально низкие значения $\delta^{13}C$ (до $-45,7\text{‰}$), зафиксированные на северо-восточном участке месторождения (рис. 6) указывают на то, что в процессе минералообразования происходило окисление метана.

Полученные данные указывают на прохождение потока водно-углеводородных растворов через горизонты, обогащенные гипсом и галитом. Также возможно прохождение хлоридно-сульфатных вод через нефтегазоносные залежи, на наличие которых указывает ряд предпосылок, например, проявления вторичных битумов в прожилках и сутуро-стилолитовых швах, аномальные концентрации импрегнированных углеводородных газов в породах нижнего палеозоя.

Помимо отмеченных ореолов импрегнированного CO_2 о проявлении *газовых ореолов* указывают газогеохимические данные по вторичному прожилково-метасоматическому осветлению красноцветных пород кембрия, вмещающих кимберлиты Наканского поля. Вторичное осветление представлено ассоциацией субпослойных и прожилково-метасоматических образований (рис. 19).

Они картируются в виде ореолов около кимберлитовых даек, даек траппов, тел эруптивных брекчий щелочных базитов и разломов, контролирующих локализацию кимберлитов [Игнатов и др., 2016].

Газогеохимический анализ выполнен по серии образцов неизмененных красноцветных пород и непосредственно примыкающим к ним осветленным породам. Газохроматографический анализ проводился в лаборатории ЦНИГРИ Ю.В. Васютой при температуре $450^\circ C$ на хроматографе Agilent 6890 (США). Содержание водорода не определялось. Отмеченный выше скачкообразный рост газовой выделения из осадочных пород при температуре выше $350^\circ C$ указывает на то, что газы выделяются в результате вскрытия закрытых пор, т.е. декрепитации флюидных микровключений.

Выявлено, что в освещении повышены содержания этана, пропана, бутана, изобутана, бутилена, при этом, чем тяжелее углеводород, тем контрастнее концентрация между исходной красноцветной и освещенной породой. На рис. 20 приведены соотношения концентраций n-бутана.

Приведенные факты указывают на поток газов с глубины и вероятное экранирующее значение пластов плотных известняков и доломитов.

На древние взрывы указывают и структурно-петрофизические данные. Согласно методике, разработанной профессором МГУ им. М.В.Ломоносова В.И.Старостинным ультразвукового структурно-петрофизического анализа [Бурмистров и др.,2009], исследована серия образцов осадочных пород нижнего палеозоя, вмещающих кимберлитовые трубки [Игнатов и др., 1998, Штейн, 1996]. Ориентированные образцы были взяты из шахты по месторождению алмазов трубка Ботуобинская и из карьера по тр. Нюрбинская. Другие штупфы были выпилены из керна вертикальных скважин, они ориентированы лишь по вертикали и глубине. В последнем случае структурно-петрофизический анализ возможен при условии горизонтального залегания осадочных пород раннепалеозойского платформенного чехла, вмещающих позднедевонские кимберлиты.



Рис. 19. Ассоциация прожилкового и субпластового освещения: а – скв. ПР-8-1, гл. 286; б – скв. ПР-8-1, гл. 266; в – скв. ПР-1, гл. 212,5; скв. М-22-2, гл. 275; скв. СР-46-3, гл. 349. Диаметр керна 10 см.

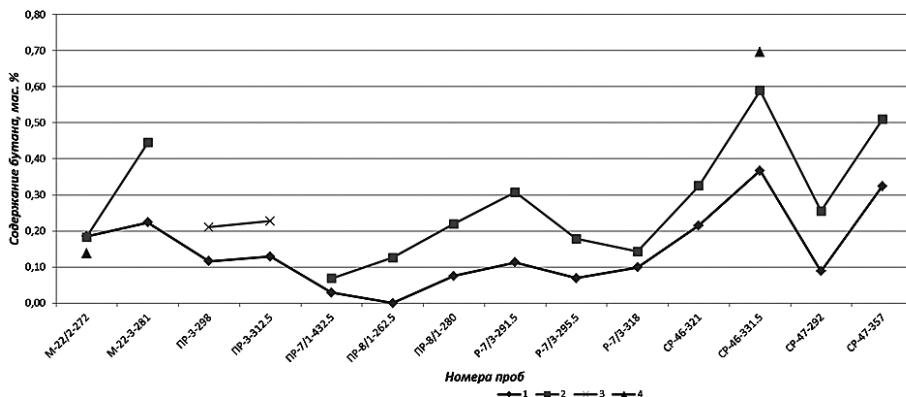


Рис. 20. Концентрации высокотемпературного n-бутана в прожилковом освещении.

1 - первично красноцветным породам; 2 - освещению прожилкового типа; 3 - послойному освещению; 4 - из темноцветного материала осевой части прожилков.

КОМПЛЕКС НЕТРАДИЦИОННЫХ ПОИСКОВЫХ ПРИЗНАКОВ КОРЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЙ НА ЗАКРЫТЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

На сферических диаграммах нашли отражение структуры центрального типа, связываемые с ударным воздействием флюидизированных кимберлитовых магм (рис. 21). Они представляют собой полюсные концентрические окружности, максимумы и минимумы, которых последовательно чередуются друг с другом. Вектор напряжения, вызвавший данную деформацию, является вертикальным или отклоняется на 10-20 градусов от вертикали в зависимости от глубины отбора образца. Это объясняется конусным типом распространения снизу вверх ударных волн, сопровождавших формирование кимберлитовых брекчий.

Рассмотренный комплекс нетрадиционных признаков разноранговых структур, контролирующих и вмещающих алмазоносные кимберлитовые дайки и трубки, в совокупности с результатами традиционных шлихо-минералогических и геофизических работ, позволяет последовательно локализовать перспективные участки до площадей 100×100 м.

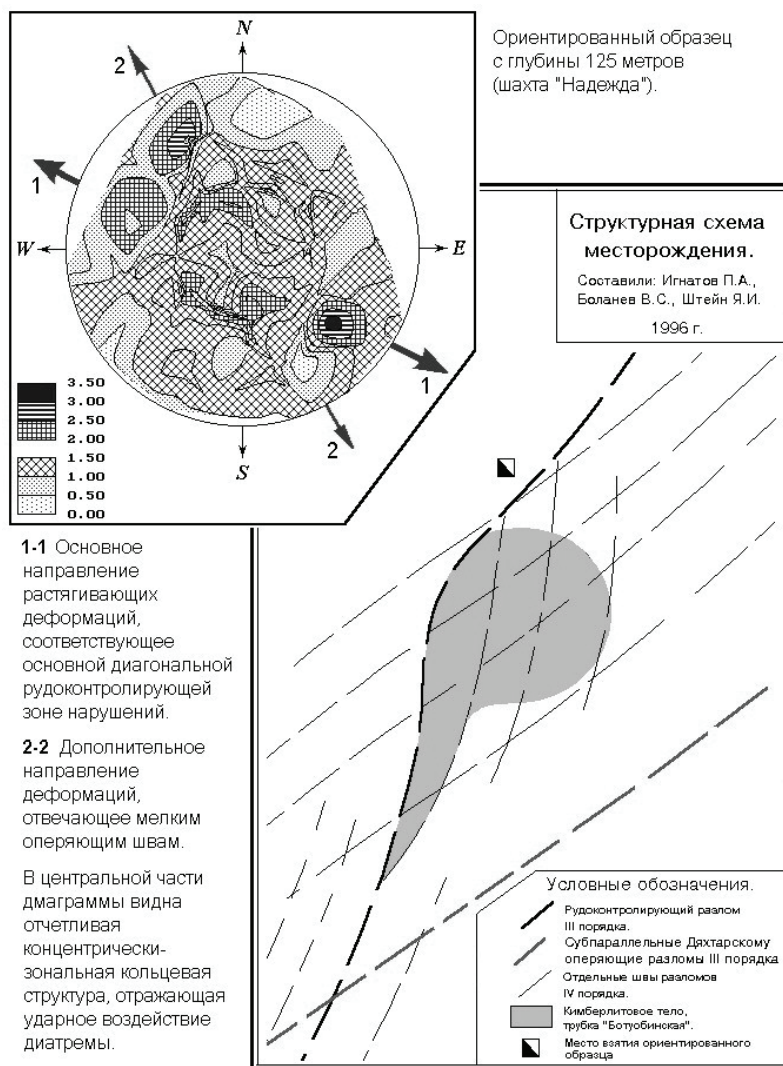


Рис. 21. Структурная схема Ботубинского месторождения и сферическая диаграмм ультразвуковых структурно-петрофизических исследований ориентированного образца, отобранного из шахты Надежда.

Литература

1. Бурмистров А.А., Старостин В.И., Дергачев А.Л., Петров В.А. Структурно-петрофизический анализ месторождений полезных ископаемых. М.: МАКС Пресс. 2009. 408 с.
2. Божевольный И.И., Минаков А.В., Черный С.Д., Якутин В.Е. Перспективы выявления новых кимберлитовых тел в юго-восточной части Якутской алмазоносной провинции. В сб. Геология, закономерности размещения, методы прогнозирования и поисков месторождений алмазов и других полезных ископаемых. Мирный. АК АРС. 1998. С. 235-237.
3. Бушков К.Ю. Структура Накынского кимберлитового поля и признаки скрытых сдвиговых кимберлитоконтролирующих структур. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. Москва. МГРИ-РГГРУ. 2006.
4. Зуев В.М., Безбородов С.М., Черный С.Д., Яныгин Ю.Т., Молчанов Ю.Д., Игнатов П.А., Штейн Я.И. Структуры, контролирующие положение кимберлитов Средне-Мархинского района. В сб. Геология, закономерности размещения, методы прогнозирования и поисков месторождений алмазов и других полезных ископаемых. Мирный. АК АРС. 1998. С. 260 - 262.
5. Игнатов П.А. Методы обнаружения скрытых рудоконтролирующих структур в осадочных толщах на примерах месторождений урана и алмазов. В сб. Фундаментальные проблемы геологии месторождений полезных ископаемых и металлогении: XXI Междунар. научн. конф., посвящ. 100-летию академика В.И.Смирнова. М. МГУ Сб трудов в 2-х томах. Том 1. М.: МАКС Пресс, 2010. С. 169-186.
6. Игнатов П.А. Палеотектонические методы обнаружения скрытых структур, контролирующих месторождения урана и алмазов. Разведка и охрана недр.. 2016. № 6. с. 11-15.
7. Игнатов П.А., Бушков К.Ю., Новиков К.В., Толстов А.В. Ареал брекчий щелочных базитов Накынского кимберлитового поля. Известия вузов. Геология и разведка. № 2. 2010. С. 31-35.
8. Игнатов П.А., Зарипов Н.Р., Килижеков О.К., Лисковая Л.В. Освещение кембрийских красноцветных пород Накынского поля Якутской алмазоносной провинции // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2016. № 5. С. 26-34.
9. Игнатов П.А., Новиков К.В., Бушков К.Ю., Толстов А.В. Реконструкция кинематики разломов на закрытых территориях по данным анализа микронарушений в керне. // Известия ВУЗов. Геология и разведка. 2011, №3,с.55-60.
10. Игнатов П.А., Старостин В.И., Штейн Я.И. Проявление ударных деформаций в осадочных породах, вмещающих алмазоносные кимберлиты Мало-Ботуобинского и Накынского полей по данным структурно-петрофизических исследований // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология, № 6. 1999. С. 29 - 35.
11. Игнатов П.А., Шмонов А.М., Новиков К.В., Кряжев С.Г., Ковальчук О.Е., Разумов А.Н. Ореолы углекислого газа в карбонатных породах, вмещающие дайково-жильные кимберлитовые тела Накынского поля Якутии.// Руды и металлы №3. 2014. – с 39-46
12. Игнатов П.А., Шмонов А.М., Новиков К.В., Кряжев С.Г., Ковальчук О.Е., Разумов А.Н. Сравнительный анализ рудовмещающих структур Майского, Мархинского и Озерного кимберлитовых тел Накынского поля Якутии. //Геология рудных месторождений. 2015. Том 57, № 2. С. 125-131.

13. Киселев А.И., Егоров К.Н., Чернышов Р.А., Чашухин А.В., Яныгин Ю.Т. Проявления флюидно-взрывной дезинтеграции базитов в Накынском кимберлитовом поле (Якутская алмазоносная провинция) // Тихоокеанская геология. 2004. Том 23. №1. С. 97–104.
14. Киселев А.И., Ярмолук В.В., Егоров К.Н. и др. Среднепалеозойский базитовый магматизм северо-западной части Вилуйского рифта: состав, источники, геодинамика //Петрология. 2006. Том 14. № 6. С. 626-648.
15. Киселев А.И., Ярмолук В.В., Егоров К.Н. «Калиевые» базальты и «пикробазальты» девонских кимберлитовых полей Западной Якутии и их связь с кимберлитовым магматизмом (Россия) // Геология рудных месторождений. 2009. Том 51. № 1. С. 38-57.
16. Копылова А.Г., Земнухов А.Л., Томшин М.Д. Петрохимические особенности щелочных базитов Накынского кимберлитового поля // Отечественная геология. 2005. № 5. С. 65-73.
17. Коробков И.Г. Тектоника, палеогеография и базитовый вулканизм алмазоносных районов Восточного борта Тунгусской синеклизы. Иркутск. ИЗК СО РАН. 2015. 353 с.
18. Махоткин И., Роби Д., Курсзлаукис С., Валуев Е., Пылаев Н. Возраст и модель образования трубок Ломоносовского месторождения алмазов. Архангельская область, Северо-Запад России // Тр. конференции «MINEXFORUM Северо-Запад 2007». Петрозаводск, 2007. С. 32-39.
19. Милашев В.А. Кимберлиты и глубинная геология. Л., Недра. 1990. 167 с.
20. Новиков К.В. Геолого-структурное моделирование при локальном прогнозе алмазоносных кимберлитов на закрытых территориях (на примере Накынского поля Якутии). Автореферат канд. дисс. Москва, РГГРУ 2010.
21. Серокуров Ю.Н., Калмыков В.Д., Зуев В.М. Космические методы при прогнозе и поисках месторождений алмазов. М. ООО «Недра-Бизнесцентр». 2001. 198 с.
22. Палеосейсмология. Под ред. Дж.П.Мак-Калпина. в 2-х томах. М. Научный мир. 2011. т. 2. 400 с.
23. Тирский Г.А. Некоторые геодинамические и временные аспекты формирования кимберлитомещающих структур. В сб. Геология, закономерности размещения, методы прогнозирования и поисков месторождений алмазов и других полезных ископаемых. Мирный. АК APC. 1998. С. 147-149
24. Томшин М.Д., Фомин А.С., Корнилова В.П., Черный С.Д., Яныгин Ю.Т. Особенности магматических формаций из Накынского кимберлитового поля Якутской провинции //Геология и геофизика. Том 39. № 12. 1998. С. 1678-1689.
25. Фор Г. Основы изотопной геологии. М: Мир. 1989. 589 с.
26. Шмонов А.М. Геолого-структурные и минералого-геохимические признаки, присущие алмазоносным телам дайково-жильного типа (на примере Накынского кимберлитового поля Якутии). Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. Москва. МГРИ-РГГРУ. 2015.
27. Штейн Я.И. Геологические особенности околотрубочного пространства кимберлитов Якутии как критерии оценки локальных площадей на коренные месторождения алмазов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. Москва, МГГА-МГРИ. 1997.
28. Щукин В.Н., Минорин В.Е., Харьков А.Д. Тектонический контроль, стадийность формирования и алмазоносность Мало-Ботуобинского района. В сб. Рудообразование и его связь с магматизмом. М. Наука. 1972. С. 171-177.

*А.С. Галкин, В.Н. Широбоков, И.С. Зезин, В. Герман, Г.П. Киселев,
В.А. Кривицкий, В.И. Старостин, Н.Ф. Скопенко, А.Д. Гальперин,
С.И. Красоткин*

ПРИМЕНЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ МЕТОДОВ ПОИСКОВ АЛМАЗОНОСНЫХ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТРУБОК С ПОЗИЦИИ ГИПОТЕЗЫ КЛАСТЕРНОЙ ЯДЕРНОЙ ДИССОЦИАЦИИ

Актуальность темы обусловлена сложностью обнаружения глубокозалегающих кимберлитовых тел, перекрытых как покровом современных аллохтонных, так и более молодых, платформенных образований.

Анализ результатов работ на поиски коренных месторождений алмазов последних лет ПАО «Севералмаз» и другими организациями показал низкую эффективность применяемого комплекса геолого-геофизических исследований (включая магниторазведку, гравиразведку, минералогические исследования и др.), несмотря на крайне высокие затраты работ на ГРП. Зачастую, по своим физическим свойствам (плотности, намагниченности) такие тела мало отличаются от вмещающих их пород, других ультрабазитов и перекрывающих магнетитсодержащих отложений.

Существовавшая многие годы методика поисков, основанная на заверке локальных магнитных аномалий (ЛМА), по-видимому, исчерпала себя. Накопленный фактический материал позволяет говорить о том, что наиболее рентабельные высокоалмазные трубки весьма слабо или вообще не проявляются в геофизических полях. В качестве примеров можно привести алмазоносные трубки Накынского кимберлитового поля (Якутия), а также трубку Архангельская месторождения им. Ломоносова и трубку им. Гриба в Архангельской области. Есть и обратные примеры, когда яркие локальные аномалии магнитного поля, т.н. аномалии «лидеры», наблюдаются либо над не алмазоносными трубками, либо под ними трубок не обнаруживается вовсе.

Применение при поисках кимберлитовых трубок традиционных геохимических методов по потокам и вторичным ореолам рассеяния также обладает низкой эффективностью, которая обусловлена в первую очередь незначительными среднестатистическими геохимическими отличиями кимберлитовых тел от вмещающих или перекрывающих их пород по валовым концентрациям элементов-спутников. При этом выделяемые геохимические аномалии, сопровождающие кимберлитовые трубки, как правило, обладают низкой контрастностью. Это обстоятельство резко ограничивает возможности применения традиционных методов геохимических поисков в сложных ландшафтно-геоморфологических условиях и значительных мощностях рыхлых отложений, перекрывающих кимберлитовые трубки, что особенно характерно для Архангельской алмазоносной провинции.

Традиционная технология поисков месторождений полезных ископаемых основана на представлении о том, что геологическая информация – наиболее эффективная основа обнаружения рудных объектов, хотя геологические данные по своей природе имеют вероятностный характер. Кроме того, функциональные связи между геологическими параметрами и местоположением месторождений очень сложны и многовариантны. Однако, несмотря на трудности, возникающие из-за ограниченности данных и сложности их интерпретации, считается, что установление связей между геологическими параметрами и размещением рудных скоплений ещё долго будет лежать в основе стратегии поисков последних, т.к. между геологическими условиями и размещением рудных концентраций существуют причинно-следственные связи.

Эффективность современных геохимических технологий базируется на ряде составляющих:

- резкого отличия химического состава кимберлитовых образований (преимущественно ультраосновные-щелочные породы с характерным спектром элементного состава);
- применения глубинных методов поисков по наложенным ореолам с использованием анализа подвижных форм элементов;
- высокой чувствительностью и точностью химико-аналитических методов определения широкого круга элементов (ISPOES, ISPMS).

В настоящее время важно принципиально определить, существует ли возможность развития альтернативных поисковых направлений. По нашему мнению, такая возможность существует.

По результатам опытно-методических работ ФГУНПП "Геологоразведка" кимберлитовые трубки достаточно четко фиксируются аномалиями подвижных форм элементов никелевой и редкометалльно-редкоземельной групп. Таким образом, выстраивается цепочка выявления разноранговых перспективных объектов: сдвиговых систем, зон разуплотнения, их ранжирование по глубине заложения, выявление наиболее перспективных структурно-тектонических факторов по критериям, установленным на эталонных объектах (тр. Архангельская, им. Карпинского-1, им. Гриба и др.).

Опыт работ в пределах Зимнебережного алмазоносного района Архангельской области показал возможность эффективного применения геоэлектрохимических методов при поисковых работах как на углеводороды, так и на алмазы.

По мнению зарубежных геологов (В. Герман) на поверхности над продуктивными алмазоносными кимберлитовыми трубками четко выявляются высокие содержания углеводородов тяжелых фракций (C_{15} - C_{20}).

Возможность применения геохимических методов поисков алмазоносных кимберлитовых трубок методом пассивной адсорбции тяжелых углеводородов, доказана при проведении тестовых работ в пределах Золотицкой группы трубок и на Верхотине.

Гамма-спектрометрическая съемка, проведенная специалистами лаборатории экологической радиологии ФГБУН ФИЦКИА в 2016 г., показали, что в эндо- и экзоконтактах кимберлитовых тел формируется избыток изотопа U^{234} и фиксируется аномальные содержания суммарного U, Th, и K^{40} .

Аномальные содержания, указанных химических элементов, являются надёжным подтверждением гипотезы, что кимберлитовые диатремы (трубки) представляют собой раскристаллизовавшееся в процессе ядерной диссоциации и кластерного радиоактивного распада атомных ядер гипер-, сверхтяжелых трансурановых химических элементов, и собственно, урана и тория, поступающих на поверхность земной коры в газообразной форме в составе газово-жидких литосферных фумарол. Предложенная гипотеза позволяет обоснованно расширить применение радиометрических методов поисков для обнаружения глубокозалегающих кимберлитовых тел.

Зимний берег Архангельской области обладает большой перспективностью для выявления промышленных алмазоносных трубок. Значительный минерально-сырьевой потенциал территории, пока не оцененный в полной мере, и развитая горнодобывающая инфраструктура Ломоносовского ГОКа и послужили основанием для постановки здесь опытно-методических работ. По нашему мнению, в настоящее время существует реальная возможность развития альтернативных поисковых направлений, краткий обзор которых приводится в настоящей работе.

Геоэлектрoхимические методы

В основе применения геоэлектрoхимических методов лежит явление дальней струйной миграции химических элементов с образованием струйных ореолов рассеяния, открытое и изучавшееся специалистами ВИРГ-Рудгеофизика (с 2005 года – ФГУНПП "Геологоразведка"). Доказано, что на границах минералов протекают разнообразные физико-химические процессы, за счет которых во вмещающих породах появляются химические элементы, характерные для этих минералов в подвижных формах нахождения. Эти химические элементы переносятся к дневной поверхности в водной и газовой фазах, образуя наложенные ореолы рассеяния. В частности, перенос в водной фазе осуществляется за счет фильтрации и капиллярного подъема. Экспериментально и теоретически доказан также перенос химических элементов в газовой фазе за счет постоянно существующего в верхней части земной коры регионального потока микропузырьков газов. По пути движения эти пузырьки захватывают химические элементы в подвижных формах нахождения и переносят вверх, вплоть до дневной поверхности. Вблизи дневной поверхности эти химические элементы продолжают существовать в подвижных формах нахождения, накапливаются в органических комплексах или сорбируются железо - марганцевыми соединениями почв. В настоящее время в поисковой геохимии наибольшее применение находят термомагнитный геохимический метод (ТМГМ), основанный на селективном извлечении элементов (в т. ч. рудных), сорбированных гидроксидами Fe и Mn в почвах и рыхлых отложениях и метод диффузионного извлечения элементов (МДИ), основанный на селективное извлечение из почв подвижных и слабозакрепленных форм нахождения элементов. Теоретические расчеты показывают возможность миграции химических элементов на расстояние в несколько километров. **Имеются практические примеры обнаружения рудных объектов, залегающих на глубинах до 1 километра.**

Опыт работ в пределах Зимнебережного алмазoносного района показал возможность эффективного применения геоэлектрoхимических методов при поисковых работах на алмазы. В процессе исследований использовались термомагнитный геохимический метод (ТМГМ) и метод диффузионного извлечения (МДИ).

Профильными опытно-методическими работами в районе месторождения им. Ломоносова была выделена протяженная аномальная зона, четко увязывающаяся с объектами Золотитского кимберлитового поля. Наиболее отчетливо эта зона проявлена в поле выделенного в ходе работ мультипликативного показателя Ni^*Cu^*La . При этом крупные объекты - тр. Пионерская, Поморская, им. Ломоносова, также выделяются в аномальном поле этого показателя (рис. 1).

Детальные опытно-методические работы в районе трубки Пионерской подтвердили существование этой аномальной зоны и выявили дополнительные показатели, в полях которых контрастно выделяется как сама зона, так и собственно трубка в ее центральной части. При этом была подтверждена эффективность выбранных ранее для выделения кимберлитовых объектов показателей – Cu^*Ni^*La (МДИ), Zr (МДИ), рН и каппа (рис. 2).

По результатам опытно-методических работ на трубке Пионерской выделен комплекс дополнительных индикаторов кимберлитового магматизма, включающий в себя, кроме упомянутых, U, K, Be (рис. 2). Причем для двух последних, наряду с Zr, характерна приуроченность относительно повышенных содержаний непосредственно к контуру трубки.

В 2008 г. при детальных площадных опытно-методических работах на трубках Волчьих Верхотинского кимберлитового поля выявлен сложный характер геохимического поля, характеризующегося множественными аномальными зонами и областями. При этом собственно кимберлитовая трубка фиксируется аномалиями элементов-индикаторов установленного комплекса. Анализ корреляционных связей

ПРИМЕНЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ МЕТОДОВ ПОИСКОВ АЛМАЗОНОСНЫХ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТРУБОК С ПОЗИЦИИ ГИПОТЕЗЫ КЛАСТЕРНОЙ ...

между элементами-индикаторами в разных формах нахождения позволил выделить показатель (высокий коэффициент парной корреляции между цирконием МДИ и ТМГМ), весьма четко фиксирующий кимберлитовые трубки на фоне сложного геохимического поля (рис. 3).

Накопленный к настоящему времени опыт позволяет говорить о возможности эффективного применения геоэлектрохимических методов при поисках разноранговых кимберлитовых объектов. При этом работы целесообразно проводить в два этапа:

Выделение кимберлитоконтролирующих структур (глубинных разломов – зон развития кимберлитового магматизма). Профильные работы с использованием методов диффузионного извлечения (МДИ) и термомагнитного геохимического метода (ТМГМ). Ориентировочные параметры сети опробования: расстояние между профилями порядка 500 м, шаг наблюдений по профилю 100-200 м.

Локализация объектов типа трубка (в том числе – оценка и разбраковка перспективных геофизических аномалий) в пределах выделенных перспективных участков детальными площадными работами по сети порядка 100-50х50-20 м (в зависимости от масштабов поисковых объектов).

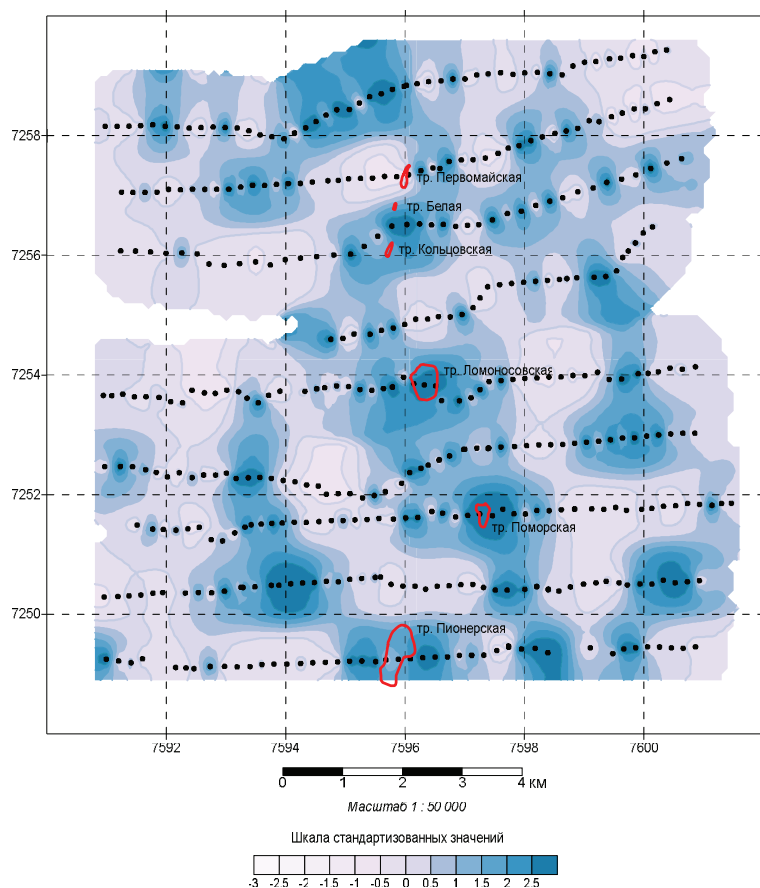


Рис. 1. Распределение стандартизованных значений мультипликативного показателя $Cu \cdot Ni \cdot La$ (МДИ). Золотицкая группа кимберлитовых тел, мест. им. Ломоносова.

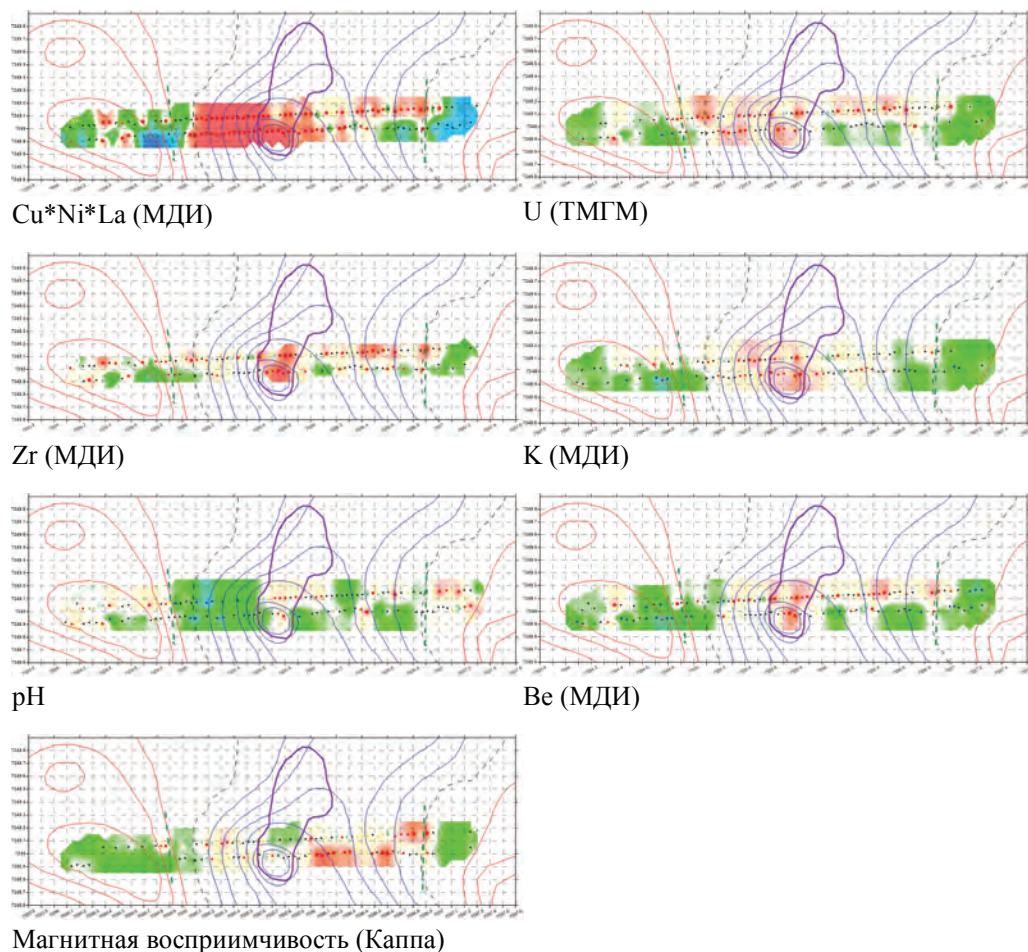


Рис. 2. Распределение стандартизированных содержаний элементов над трубой Пионерская.

Результаты опытно-методических геоэлектрохимических работ на территории **Золотицкого, Верхотинского и Кепинского кимберлитовых полей** свидетельствуют о том, что кимберлитовые трубки выделяются в целом однотипным набором информативных показателей. Однако, в объеме проведенных исследований, для разных объектов интенсивность проявления и характер распределения отдельных показателей могут различаться. Это ограничивает область применения комплекса геоэлектрохимических методов площадями, на которых имеются эталонные объекты непосредственно в пределах оцениваемой площади. Вовлечение в сферу исследований новых объектов могло бы позволить создать типовые геоэлектрохимические модели для разных групп кимберлитовых трубок Архангельской алмазоносной провинции и, возможно, выделить комплекс элементов-индикаторов, маркирующих высокоалмазоносные кимберлитовые трубки, слабо проявленные в магнитном поле.

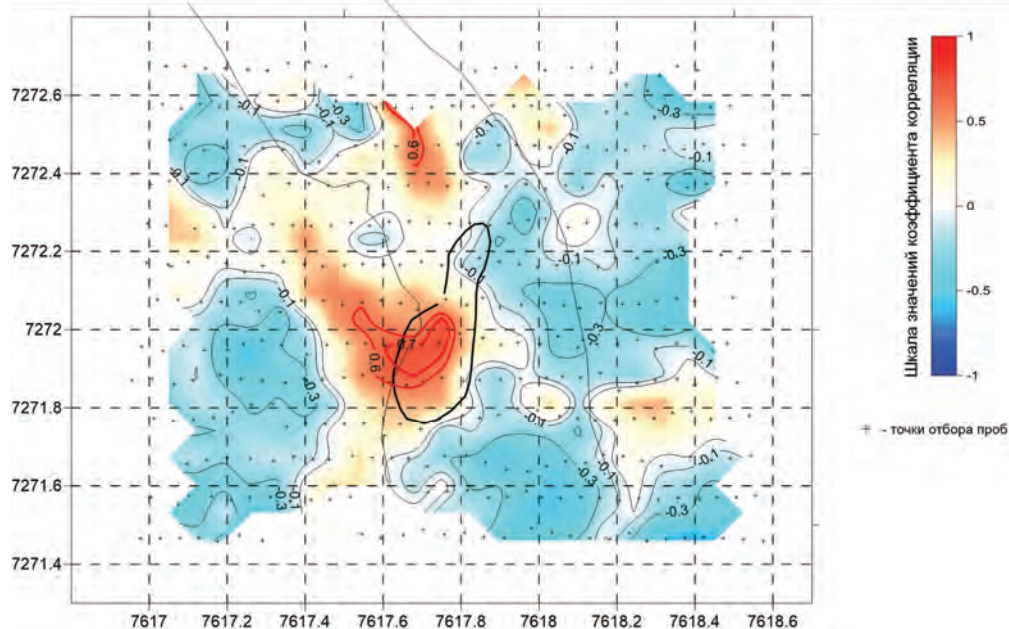


Рис. 3. Карта изолиний коэффициентов парной корреляции Zr (МДИ)-Zr (ТМГМ), рассчитанный в скользящем окне 150х150 м. Верхотинское кимберлитовое поле.

Метод пассивной адсорбции тяжелых углеводородов почвенно-грунтового воздуха

Метод пассивной адсорбции тяжелых углеводородов почвенно-грунтового воздуха (более известный под названиями Gore-Sorber и Radiello-Sorber) впервые в России был внедрен в 2003-2004 гг. в Таймырском автономном округе на поисковых работах на нефть и показал высокую эффективность. При минимальных затратах были подготовлены к лицензированию три высоко перспективных участка на нефть. В 2005 – 2012 гг. этот метод был адаптирован на поиски коренных месторождений алмазов и проведен в Архангельской области, на Золотицком рудном поле и на трубке им. Гриба.

Представление о том, что происхождение карбонатитов и кимберлитов связано с воздействием мантийных плюмов, а карбонатиты – кимберлиты – траппы – углеводороды образуют единую генетическую последовательность, закономерно протекающих процессов ядерной диссоциации и кластерного радиоактивного распада глубинного вещества, даёт полное обоснование применения и развития поискового метода - пассивной адсорбции тяжелых углеводородов почвенно-грунтового воздуха. Суть в том, что конечными продуктами, указанных процессов, являются углерод, азот, кислород и другие летучие газы. Кимберлитовые тела, внедряющиеся в фоновое поле осадочных пород, привносят особенности состава глубинных газов, что отражается в аномальных проявлениях концентраций и состава газов даже в перекрывающих кимберлитовые тела отложениях (Кондратов Л.С., Кудрявцева Г.П., Старостин В.И. и др. Особенности газового поля кимберлитовых трубок. //ДАН, 2005, т. 404, №6, с. 818-820)

Настоящая технология является геохимическим методом поисков алмазоносных кимберлитовых трубок методом пассивной адсорбции углеводородов почвенно-грунтовых газов с определением более 80 органических соединений ряда от этана C₂ до фитана C₂₀ посредством специальных модулей - сорберов при содержаниях последних с точностью в пределах наногамм и пикогамм (10⁻⁹ – 10⁻¹² грамма) при производстве аналитических исследований по схеме термодисорбция – газохроматография – масселективное определение и последующей статистической обработкой результатов в

сравнении с пробами эталонных объектов – алмазоносной трубкой взрыва и фоновой геофизической аномалией (рис. 4).

По гистограммам содержаний углеводородов в сорберах эталонных объектов можно отметить, что продуктивная алмазоносная трубка им. Гриба отличается от не алмазоносной трубки № 402 Верхотина высокими содержаниями тяжелых углеводородов $C_{12} - C_{20}$ (нижние две диаграммы в правой части) для наглядности выраженные в условных единицах.

Результаты геохимического обследования по методу пассивной адсорбции углеводородов почвенно-грунтовых газов выражаются в процентах вероятности (от 0% до 100%) и отображают то, что данная сетевая проба показывает поверхностную геохимическую характеристику, связанную с известными продуктивными (100%) и пустыми (0%) эталонными объектами. Полученные значения вероятности модели оконтуриваются (рис. 5 и рис. 6) и могут включать другую геологическую структурную информацию, предоставленную клиентом.

Технология базируется на теории Пирсона - так называемого «дыхания недр», при котором происходит микропросачивание углеводородных соединений от разломов глубинного заложения практически вертикально вверх к дневной поверхности, когда легколетучие УВ-газы (метан, этан, пропан, бутан) в виде микропузырьков тянут с собой прилипшие к ним более тяжелые УВ в коллоидальной форме. Аналогичное движение происходит по тектоническим структурам, в том числе по трубкам взрыва («эффект каминной трубы»), но содержание углеводородов в них на порядки больше.

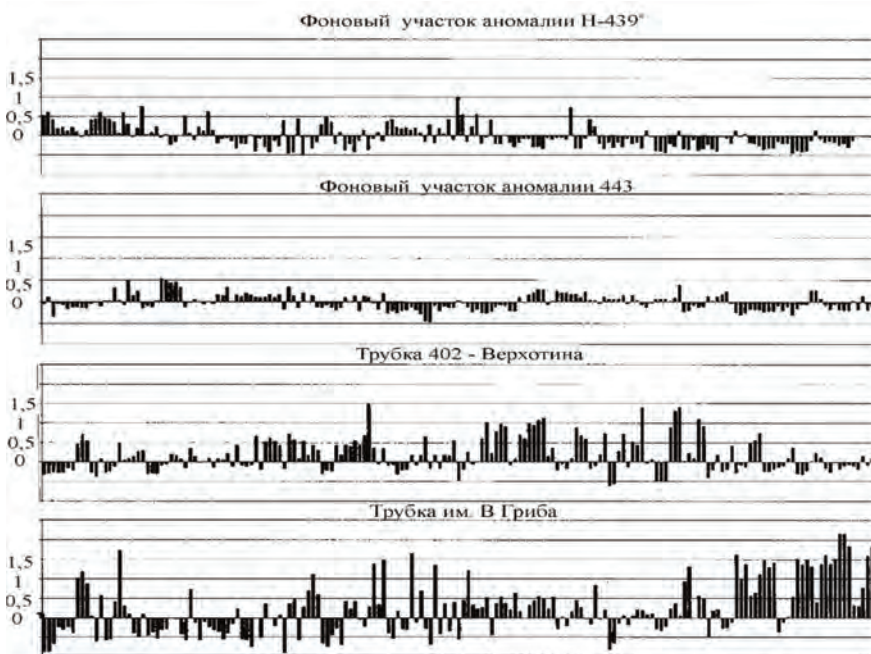


Рис. 4. Газохроматография – масселективное определение и последующей статистической обработкой результатов в сравнении с пробами эталонных объектов – алмазоносной трубкой взрыва и фоновой геофизической аномалией.

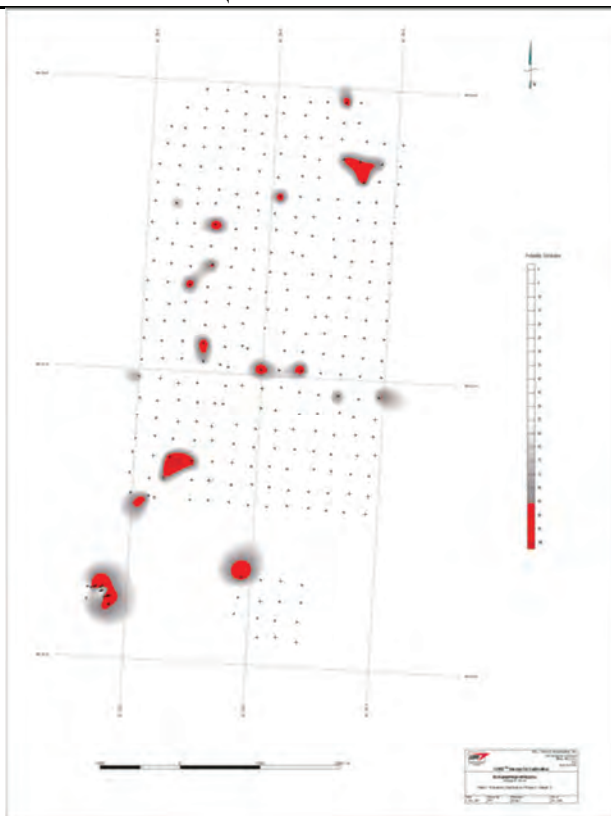


Рис. 5. Результаты геохимического обследования по методу пассивной адсорбции углеводородов почвенно-грунтовых газов.

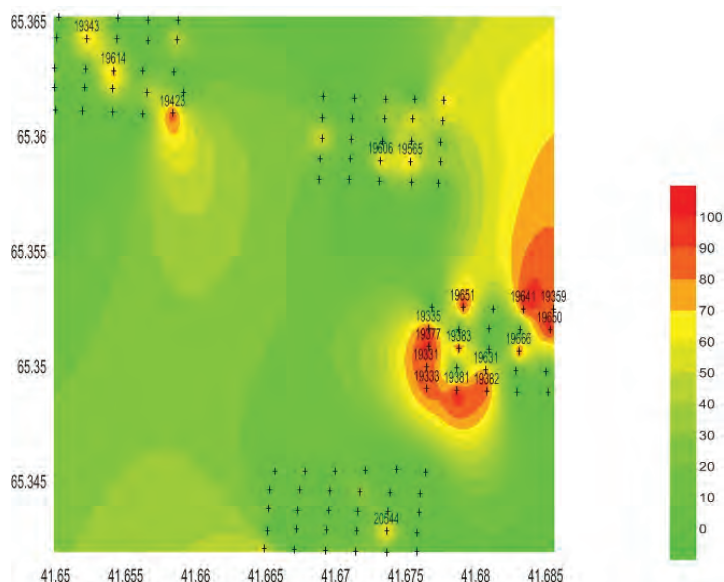


Рис. 6. Поверхностная геохимическая характеристика, связанная с известными продуктивными (100%) и пустыми (0%) эталонными объектами. Полученные значения вероятности модели оконтуриваются. Положительная геохимическая аномалия подковообразной формы на геофизической аномалии KN 110.

На рис. 5 отмечается наличие как достоверных (более 3 точек) так и недостоверных положительных аномалий закономерности их расположения как в субмеридиональной (ок. 30 град.) так и широтной направленности.

Местоположение трубки Гриба (положительная геохимическая аномалия подковообразной формы слева внизу) так же это подтверждает.

С высокой достоверностью было доказано, что не только данные гистограмм пустых аномалий очень сильно отличаются от данных гистограмм трубок взрыва, но и сами гистограммы непродуктивной, без содержания алмазов, трубки № 402 Верхотина, отличаются от гистограммы продуктивной алмазоносной трубки им. Гриба не только по углеводородным соединениям, но и по их содержаниям в пробах. Так же было фактически подтверждено, что гистограммы других алмазоносных, но не промышленных из-за своих размеров трубок совпадают с гистограммами углеводородных соединений алмазоносной трубки им. Гриба.

В 2012 году опытно-методические работы были возобновлены на Кепинском лицензионном участке ПАО «Севералмаз». Целью работ становилась разбраковка ранее выделенных магнитных аномалий для рекомендаций постановки поискового бурения.

В качестве других эталонов (как негативных, так и непродуктивных или слабопродуктивных трубок) использовались геофизическая аномалия 406е и трубки Горелая и Победа.

В результате проведенных работ на аномалиях KN109, 110, 111, 113 и 114 были обнаружены несколько положительных геохимических аномалий по эталонам алмазоносных трубок Ломоносовская и Пионерская. Положительная геохимическая аномалия подковообразной формы на геофизической аномалии KN 110 на рис. 6 и несколько менее выраженная и смещенная по отношению к ней к северо-востоку положительная аномалия на рис. 7 подтверждают результаты ранее проведенных геохимических работ на Верхотинской площади. Это можно объяснить как неоднородностью состава кимберлитовых пород алмазоносных трубок, так и их большей проницаемостью на периферийной (приконтактной) зоне с околорудными вмещающими породами.

Неоднородность состава пород кимберлитовой трубки Пионерская была также подтверждена результатами геохимических работ, как и различная степень их трещиноватости при попытке оконтурить последнюю двумя геохимическими профилями вкрест (рис. 8).

Использование метода пассивной адсорбции тяжелых углеводородов почвенно-грунтового воздуха может позволить на первом этапе картировать разломы глубинного заложения на поверхности, к которым приурочены алмазоносные кимберлитовые трубки и подтвержденные ранее проведенными аэромагнитными съемками, так и на втором этапе при оконтуривании собственно алмазоносных трубок.

Использование газов пород для поисков кимберлитовых трубок

Породные газы литосферы подразделяются на адсорбированные, абсорбированные и вакуольно-капиллярно-конденсированные. Адсорбированные газы, удерживаемые силами Ван-дерВаальса на поверхности минералов, представлены углеводородными газами с более тяжелыми молекулами и в первую очередь их неопредельными гомологами, обладающими некомпенсированными связями молекул.

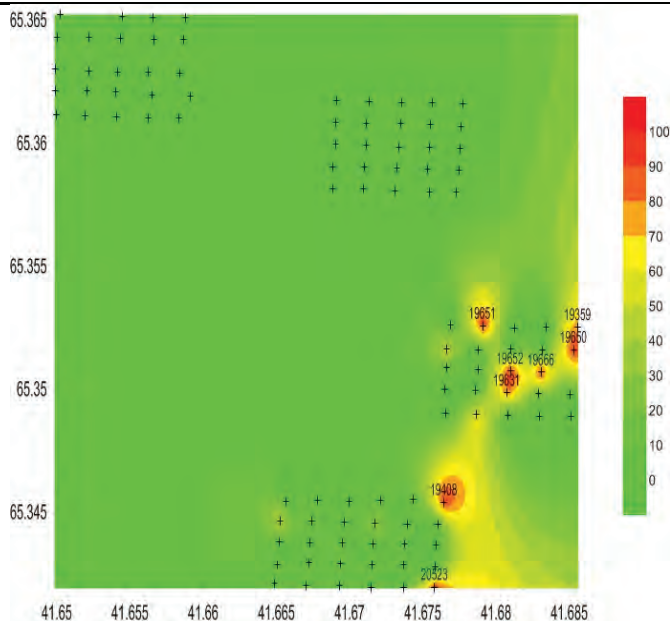


Рис. 7. Положительная аномалия подтверждает результаты ранее проведенных геохимических работ на Верховинской площади.

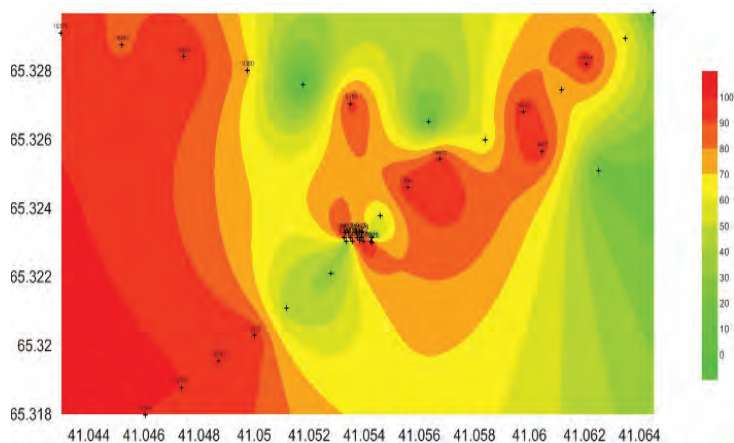


Рис. 8. Кимберлитовая трубка Пионерская, подтвержденная результатами геохимических работ.

Абсорбированная форма газа удерживается ионными силами кристаллической решетки минералов. Для этой формы газа характерно “фильтрующее” действие кристаллической решетки минералов, которое заключается в более свободном вхождении в кристаллическую решетку малых по размеру и лёгких молекул газа. В тончайших микротрещинах-капиллярах газовые молекулы превращаются в конденсат и жидкость, которые подчинены капиллярным силам. (рис. 9). В вакуолях газово-жидкие включения в минералах захватываются породой в момент их кристаллизации и перекристаллизации.

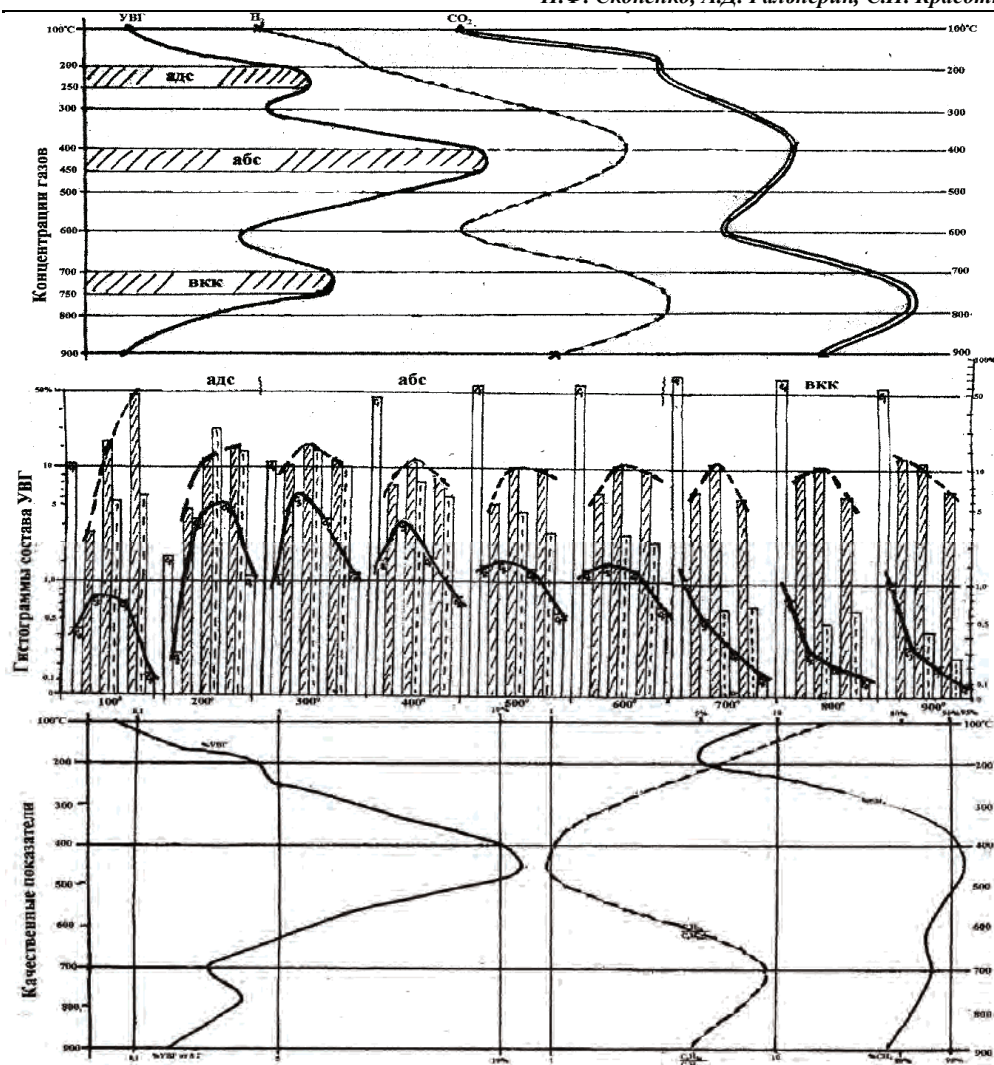


Рис. 9. Принципиальная схема выделения из пород (при их нагреве) газов разных форм.

Систематические исследования по определению в породах отдельно адсорбированных и абсорбированных форм газа начались во ВНИИГеосистем (Москва) с 1985 г. Л.С. Кондратовым. В экспериментах Л.С. Кондратова и И.А. Тарасова прокаленные при 600 °С порошки разных типов пород насыщались газами определенного состава (C_1 - C_3 - C_4), а затем их подвергали термодесорбции при температуре от 100 до 350 °С с шагом нагрева 50 °С. Средняя температура в 225 °С принята для извлечения из всех типов пород адсорбированной формы газа. Результаты исследования газовых полей по адсорбированным газам на месторождениях твердых полезных ископаемых оказались высокоинформативными.

Прежде всего отметим, что наиболее высокие концентрации УВГ выделялись из разных пород при температуре нагрева от 300 до 500 °С (рис. 9). Для УВГ капиллярно-конденсированной формы характерны газы легкого состава ($CH_4 > 50\%$) с наибольшим значением коэффициента C_nH_{2n}/C_nH_{2n+2} . При нагреве пород от 100 до 900 °С отмечается постепенное нарастание концентрации УВГ к рубежу 300—500 °С, а затем концентрации

заметно понижаются и на рубеже в 700—800⁰С появляется новое повышение концентрации, которое резко падает к границе нагрева в 900⁰С (рис. 9). Пики концентраций отражают выходы абсорбированных и вакуольно-капиллярно-конденсированных форм газа соответственно. При исследовании газового поля Земли для решения различных задач целесообразно определиться, с какой формой газа следует иметь дело. Наиболее информативны могут быть газы адсорбированной и абсорбированной формы, а в газах вакуольно-капиллярно-конденсированной формы возможны добавки CO₂ и H₂ за счет деструкции некоторых минералов при нагреве > 600°.

Исследования адсорбированных газов кимберлитов Архангельской (ААП) и Якутской (ЯАП) алмазодносных провинций позволили получить уникальные результаты по специфике состава газов и уровням их концентрации. Исследования газов кимберлитов трубки Таежная (ЯАП) по скважине 8 в интервале глубины 2,5–56,0 м при нагреве кимберлитов от 100 до 900⁰С показало: В пробах кимберлитов, отобранных с глубины 2,5, 14,2, 19,0, 41,0 и 56,0 м установлен один и тот же характер распределения газов, выделенных при нагреве пород: проявляются три пика повышения концентрации УВГ при нагреве до 200, 400 и (700)800⁰. Наиболее высоко содержание газов отмечается в кимберлитах с глубины 41 м. При этом фиксируется почти трехкратное превышение концентрации H₂ над концентрацией УВГ при нагреве кимберлитов до 200⁰, а при нагреве до 400⁰ выделяющиеся из кимберлитов количество H₂ и УВГ выравнивается и только при нагреве кимберлитов до 800⁰ концентрация H₂ почти на порядок превышает таковую УВГ. Для удобства характеристики выделившихся газов из кимберлитов при их нагреве от 100 до 900⁰ использованы их средние содержания по изученному разрезу кимберлитовой трубки (2,5 – 56,0 м). В диапазоне нагрева кимберлитов 100–900⁰ выделяются газы разной формы.

Первый пик выхода газов отмечается при нагреве до 200⁰ что отражает термодесорбцию адсорбированной формы газа. При нагреве кимберлитов до 300⁰ выделяются газы двух форм: оставшаяся часть адсорбированного газа и некоторая часть абсорбированного газа. При нагреве до 400⁰ из кимберлитов активно выделяется абсорбированная форма газа, что отражается в резком увеличении выхода УВГ, H₂ и CO₂. При этом уровень выхода УВГ даже несколько выше, чем H₂. В УВГ резко возрастает доля CH₄ (83,4%), хотя здесь фиксируется второй пик повышения концентрации суммы гомологов метана (ΣТУ). При нагреве кимберлитов до 500⁰ концентрация выделяемых газов несколько снижается, но продолжает возрастать доля CH₄ (93,7%), а концентрация H₂ остается меньше, чем УВГ, что фиксируется по коэффициенту УВГ/H₂. Это свидетельствует о продолжении выделения абсорбированных газов. Газы уровня нагрева до 400–500⁰ отличаются и по резкому изменению газогеохимических показателей: УВГ/ΣГ, % (ΣГ = УВГ + CO₂ + H₂), CO₂/УВГ, CnH_{2n}/CnH_{2n+2} и CO₂. В распределении отдельных компонентов УВГ при нагревании до 400⁰ концентрация C₂H₆ превышает таковую nC₄H₁₀. В распределении концентрации непредельных газов начинает превышать значения концентрации C₃H₈, а с 700⁰ концентрация nC₅H₁₂ компонентов УВГ фиксируется резкое снижение концентрации C₄H₈ при нагреве до 200⁰ по сравнению с их концентрацией при нагреве кимберлитов до 900⁰, а для C₂H₄ и C₃H₆ снижение концентрации меньше. Соотношение количества изомерных соединений (iC₄/iC₅) достигает наибольшего значения к 400⁰, а далее понижается до значения 0,7 при нагреве до 900⁰.

По гистограммам состава УВГ, выделившегося из кимберлитов трубки Таежная при нагреве от 100 до 900⁰ так же отмечаются три группы газов, которые можно отнести: к адсорбированным (УВГ_{адс}) при нагреве до 200⁰, абсорбированным (УВГ_{абс}) при нагреве в 400–500⁰ и вакуольно-капиллярно-конденсированным при нагреве до 700–800⁰. Гистограммы состава УВГ, выделившихся из кимберлитов при нагреве до 300 и 600⁰ отражают смесь форм газа: адсорбированных и абсорбированных (при нагреве 300⁰С) и

абсорбированных с вакуольно-капиллярно-конденсированными (при нагреве до 600^0). Таким образом, по распределению концентрации газов, составу УВГ и закономерному распределению газогеохимических коэффициентов газы выделяющиеся из кимберлитов и других пород при нагреве от 100 до 900^0 можно разделить на три группы. К первой группе относится адсорбированная форма газа, выделяемая при нагреве до 200^0 , и характеризующаяся высокой долей непредельных компонентов УВГадс с соотношением $C_nH_{2n}/C_nH_{2n+2} \sim 6$, наиболее высокими значениями коэффициентов nC_4/nC_5 (8,5) и C_3H_8/C_2H_6 (1,9) и самым тяжёлым составом УВГадс ($CH_4 = 6,4\%$). По гистограммам состава УВГ адсорбированная форма характеризуется наибольшим содержанием непредельных гомологов метана, разнообразными соотношениями предельных компонентов УВГ и низкой долей CH_4 ($<50\%$). Ко второй группе относятся газы абсорбированной формы, которые выделяются из пород при нагреве до $400\text{--}5000$ и характеризуются самым легким составом УВГ ($CH_4 \sim 90\%$), почти двукратным превышением концентрации C_2H_6 над C_3H_8 , наибольшими значениями концентрации предельных гомологов метана, а также максимальными значениями коэффициентов iC_4/iC_5 (4,5), $УВГ/H_2$ (~ 1), $УВГ/\Sigma Г$ ($\sim 9\%$), наименьшими значениями коэффициентов $CO_2/УВГ$ (~ 9), C_nH_{2n}/C_nH_{2n+2} ($\sim 1,0$) и $CO_2/\Sigma Г$ ($\sim 82\%$). По гистограммам состава УВГ адсорбированная форма газа отличается наиболее высокой долей CH_4 (> 90) и, последовательным убыванием (от лёгких к тяжёлым) долей предельных гомологов метана. К третьей группе относится вакуольно-капиллярно-конденсированная форма газа, которая выделяется главным образом при нагреве до $700\text{--}800^0$. Она характеризуется наиболее высокими значениями концентраций H_2 и CO_2 , низким уровнем концентрации $\Sigma ТУ$ (гомологов метана), легким составом УВГ ($CH_4 \sim 90\%$), самым низким значением коэффициента nC_4/nC_5 ($\sim 0,2$) и повышенными значениями коэффициентов $(C_{2H_4}+C_{3H_6})/C_4H_{10}$ (~ 3) и $CO_2/УВГ$ (~ 100). По гистограммам состава УВГвкк характеризуются легким составом ($CH_4 >> 50\%$), значительным превышением доли непредельных гомологов метана над предельными и тенденцией к последовательному убыванию доли гомологов от легких к тяжелым.

Для выявления наибольшей информативности газов, выделяющихся из кимберлитов при их нагреве от 100 до 900^0 выбрана трубка Таежная (ЯАП). При сравнении вакуольно-капиллярно-конденсированных газов в качестве условного фона использованы опубликованные данные о газах, выделенных при температуре нагрева $600\text{--}9000$ из долеритов Восточной Сибири [Вдовыкин и др., 1981]. Абсорбированные газы кимберлитов Т-8 (400^0) сравнивались с газами из оолитовых известняков Ботуобинской площади (Восточная Сибирь), выделенных при нагреве до 400^0 . Адсорбированная форма газов из кимберлитов сопоставлялась с адсорбированными газами из подпочвенных отложений Русской платформы (условный фон – средние значения по данным 3000 анализов). При сравнении вакуольно-капиллярно-конденсированной формы газов (вкк) пород различия не зафиксированы. Более того, по гистограммам состава УВГвкк отмечается их подобие. На кривой контрастности компонентов УВГвкк проявляется слабая тенденция к нарастанию контрастности компонентов от тяжелых к легким гомологам метана. Контрастности УВГвкк, $H_{2вкк}$, $CO_{2вкк}$ составляют 1,9; 0,9; 5,5 соответственно. Несколько повышенная контрастность $CO_{2вкк}$, связана, возможно, с различной долей карбонатной примеси в кимберлитах и долеритах Восточной Сибири. По составу УВГвкк и других газов не обнаружены заметные отличия кимберлитов от фона (долериты).

При сравнении абсорбированных газов из кимберлитов и известняков (условного фона) отмечается их существенное отличие, которое проявляется на кривой контрастности компонентов УВГабс. Она высокая для УВГабс (55,0), и $H_{2абс}$ (23,6), $CO_{2абс}$. На этой кривой УВГабс отмечается тенденция к нарастанию контрастности от тяжелых к легким гомологам метана с характерными максимумами CH_4 , C_3H_8 , iC_4H_{10} и

iC_5H_{12} . На гистограммах состава УВГа_{бс} из кимберлитов фиксируется очень высокая доля CH_4 и последовательное убывание долей предельных гомологов метана от легких к тяжелым. В группе непредельных гомологов превалирует C_3H_6 , а изомерный бутан превышает количество нормального бутана. Для адсорбированных газов из известняков по гистограмме состава УВГа_{бс} также выявлено последовательное убывание доли предельных гомологов метана с низкими значениями iC_4H_{10} , а доля CH_4 составляет только 38,6%. В группе непредельных компонентов УВГа_{бс} преобладает C_3H_6 .

Таким образом, адсорбированные газы кимберлитов заметно различаются от адсорбированных газов условного фона (в известняках) по уровню концентрации, но слабо различаются по составу, что может затруднить использование газов для поисков кимберлитов.

Наиболее четкие различия между газами из кимберлитов и газами условного фона отмечаются в адсорбированной форме газа. При сравнении гистограмм состава УВГа_{дс} выявлено их резкое отличие; для условного фона характерна тенденция к убыванию компонентов УВГа_{дс} от легких к тяжелым гомологам, а в группе непредельных гомологов – от тяжелых к легким, а по гистограмме состава УВГа_{дс} кимберлитов отмечается направленное нарастание доли предельных гомологов от легких к тяжелым в группе, а также изомерных компонентов. На кривых контрастности компонентов УВГа_{дс} проявляется тенденция к нарастанию от легких к тяжелым с максимумами по средним компонентам гомологического ряда. Таким образом, адсорбированные газы кимберлитов существенно отличаются от адсорбированных газов условного фона как по составу УВГа_{дс}, так и по контрастности УВГа_{дс}, H_2 а_{дс}, CO_2 а_{дс}, что является хорошим поисковым признаком кимберлитовых трубок.

Проведенное сопоставление газов, в том числе УВГв_{кк}, УВГа_{бс} и УВГа_{дс} кимберлитов и газов условного фона, позволяет отметить, что наибольшие различия характерны для адсорбированных газов ($K_{увг}=8,9$). Высокие различия по уровню концентрации УВГ выявлены и по адсорбированным газам ($K_{увг} = 55,0$). Для неуглеводородных газов $K > 20$ отмечена для H_2 а_{дс} (33,1) и H_2 а_{бс} (23,6). Для CO_2 небольшие различия установлены для адсорбированных ($K=2,3$) и вакуольно-капиллярно-конденсированных ($K=5,5$) форм газа. По кривым контрастности компонентов УВГв_{кк} и УВГа_{бс} отмечены схожие тенденции. Наибольшая контрастность компонентов УВГа_{бс} и УВГв_{кк} отмечена по CH_4 , C_3H_8 и изомерным компонентам. Схожие тенденции проявляются и при переносе газов водами, поэтому использование этих кривых контрастности для выявления кимберлитовых трубок не целесообразно.

По адсорбированным газам кривые контрастности компонентов УВГа_{дс} весьма своеобразны, характеризуются увеличением контрастности от легких к тяжелым с максимумами для средних членов гомологического ряда C_3H_8 и C_4H_{10} и высокой контрастностью изомерных компонентов. Такие особенности состава УВГа_{дс} не отмечены ни на нефтегазовых, ни на рудных месторождениях (полиметаллы, золото, уран и др.). Отмеченное свидетельствует в пользу применения при поисках кимберлитовых трубок адсорбированной формы газов. Полученные нами результаты изучения кимберлитовых трубок Архангельской (ААП) и Якутской (ЯАП) алмазоносных провинций подтверждают сделанный вывод (рис. 10).

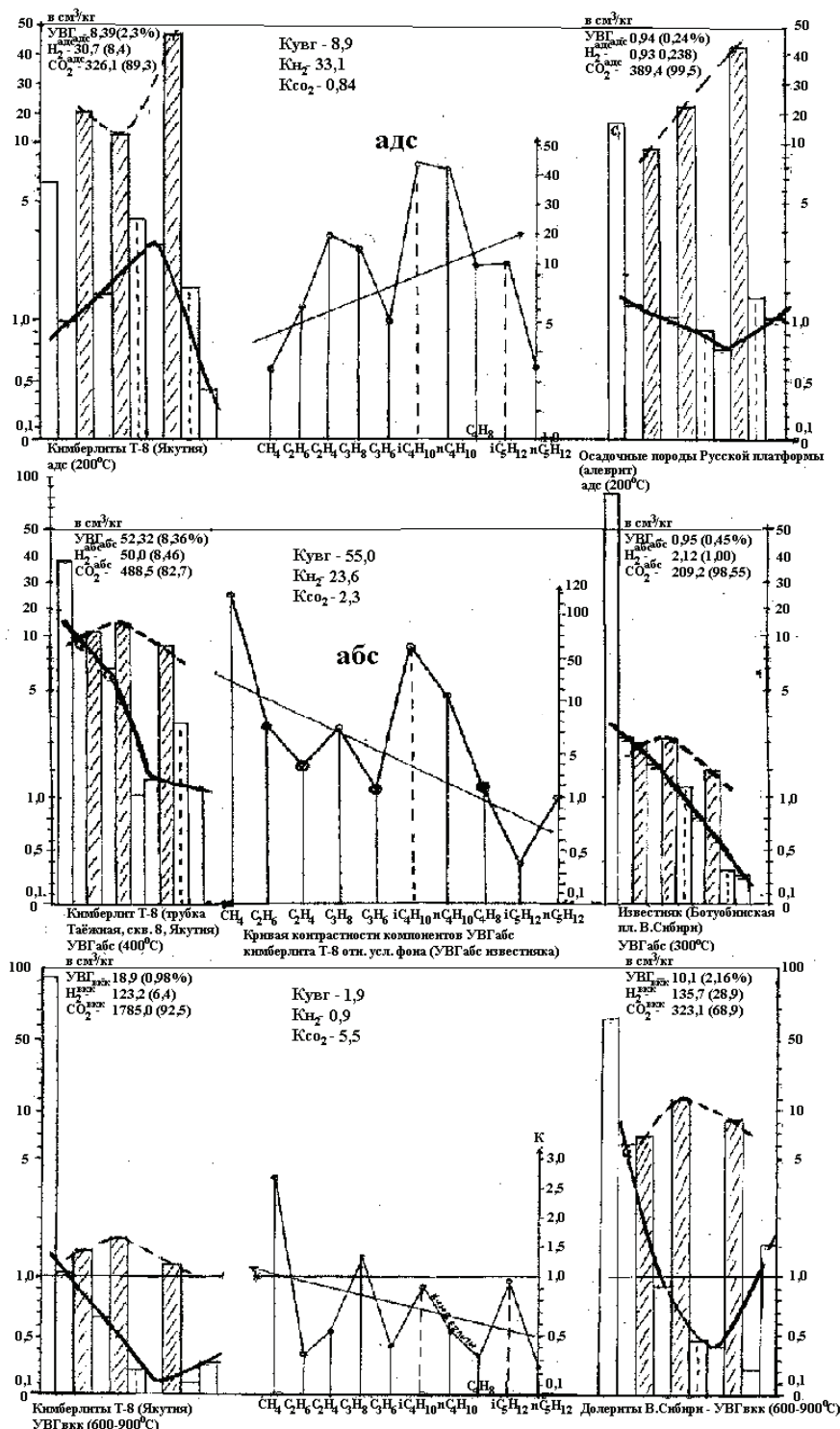


Рис. 10. Сопоставление УВГ_{адс}, УВГ_{абс} и УВГ_{бкк} кимберлитов Т-8 с такими же формами газа пород условного фона.

Отметим также, что установлена одинаковая специфика состава УВГадс кимберлитов как для кимберлитовых трубок ЯАП, так и для кимберлитов из трубок ААП. Таким образом, исследования УВГадс, выделяемых из кимберлитов при нагреве от 100 до 9000, показали, что для выявления кимберлитовых трубок наиболее удобны адсорбированные газы (УВГадс).

Для адсорбированной формы газа разных типов пород характерен устойчивый состав УВГабс с последовательным убыванием количества компонентов УВГабс от легких к тяжелым, причем как по предельным, так и по непердельным гомологам метана. Средний состав УВГабс (400⁰) по 8 кимберлитовым трубкам ЯАП, 9 кимберлитовым трубкам ААП и кимберлитам Южной Африки оказался довольно однотипным. Такое постоянство состава УВГабс кимберлитов из разных регионов позволяет предположить, что ионные силы кристаллической решетки минералов, видимо, сепарируют газовые компоненты, т.е. пропускают в кристаллическую решетку минералов газы в определенных пропорциях и с существенным (>>50%) преобладанием наиболее легкого компонента – CH₄. Отмеченное постоянство состава УВГабс кимберлитов и других пород из разных регионов не позволяет использовать газы адсорбированной формы для надежного поиска кимберлитовых трубок.

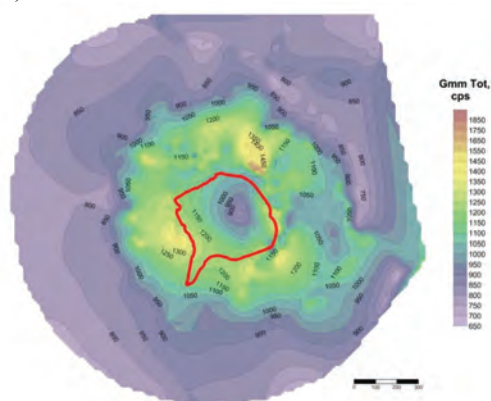
Исследования УВГ кимберлитов Якутской и Архангельской алмазодносных провинций позволили зафиксировать в них концентрации УВГ до 53 см³/кг по адсорбированной форме и около 10 см³/кг по адсорбированной и вакуольно-капиллярно-конденсированной формам. Такие уровни концентраций УВГ пород, на несколько порядков превышающие уровни возможного образования концентраций УВГ из ОВ пород, позволяют уверенно ожидать высокие по содержанию углеводородных газов потоки флюидов в зонах разломов глубокого заложения. Эти потоки могут формировать широкий спектр месторождения от кимберлитовых до карбонатитовых и нефтегазовых. Такой вывод обязывает нас рекомендовать развитие исследований газов пород при их нагреве до 1000⁰С, что позволит разработать современные технологии поиска полезных ископаемых по разным формам газа пород и их соотношениям, в том числе по газам наиболее доступных пород приповерхностных отложений, где адсорбированная, адсорбированная и вакуольно-капиллярно-конденсированная формы газа хорошо сохраняются и практически не подвержены влиянию атмосферных агентов. Такие технологии могут оказаться значительно информативнее в сравнении с используемыми в настоящее время.

Гамма-спектрометрическая съемка

Фактический материал, накопленный в последние годы при проведении гамма-спектрометрической и радоновой съемок на территории эталонных Золотицкого и Чидвинско-Ижмозерского кимберлитовых полей Архангельской алмазодносной провинции позволяет рассматривать эти методы в качестве весьма перспективных при поиске скрытых алмазодносных кимберлитовых трубок.

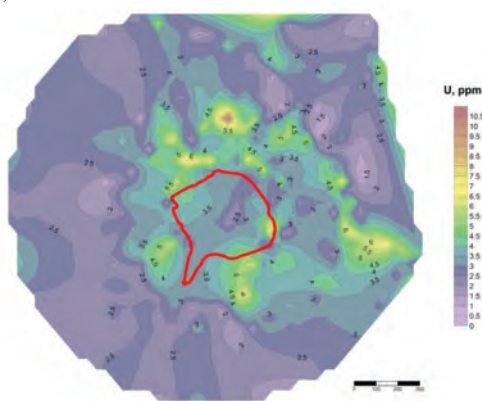
Опытно-методическими работами (Киселев, Яковлев и др.) по изучению распределения U, Th, K в породах околотрубочного пространства трубки Архангельская установлено, что аномальные концентрации радиоактивных элементов приурочены к областям ее экзоконтакта и обусловлены, скорее всего, циркуляцией инфильтрационных вод по системам контролирующих разломов и зонам повышенной трещиноватости. Как видно из рис. 11, для U, Th и K вокруг тела кимберлитовой трубки наземной гамма-спектрометрической съемкой фиксируется отчетливо проявленная кольцевая аномалия размером около 1,5 – 2 диаметров трубки.

А)



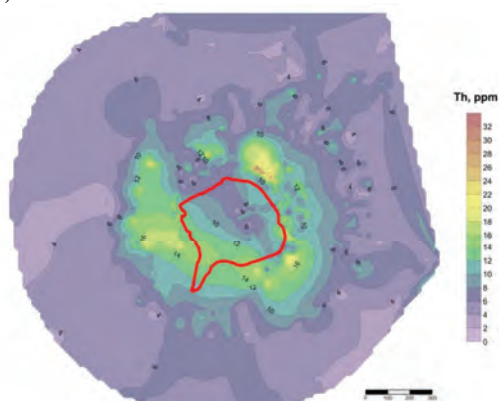
1 2

Б)



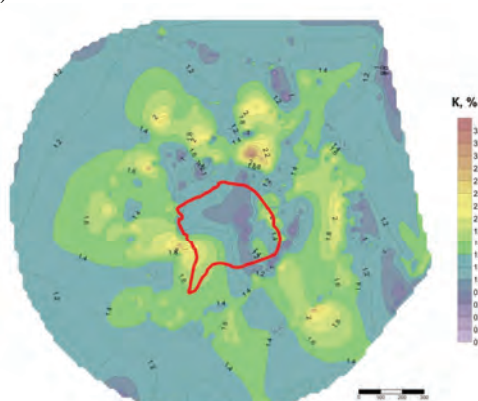
1 2

В)



1 2

Г)



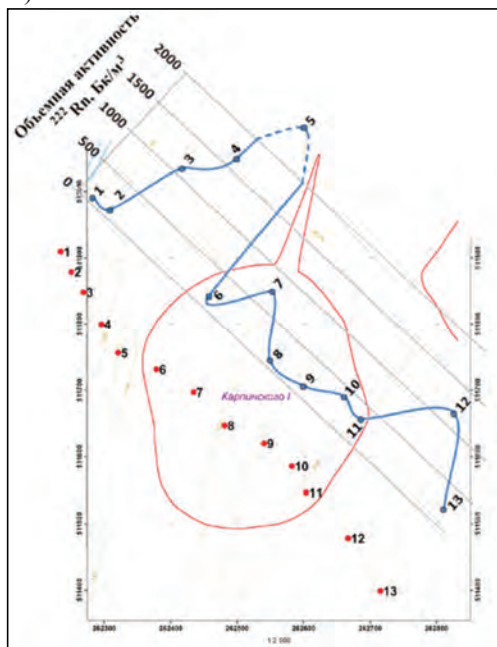
1 2

Рис. 11. Распределение суммарной интенсивности гамма-излучения (А), урана (Б), тория (В) и калия (Г) в породах околотрубочного пространстве трубки Архангельская. 1 - контур кимберлитовой трубки; 2 – изолинии радиоактивных компонентов.

Аналогичная картина распределения аномальных значений концентраций радона фиксируется и при опытно-методической профильной эманационной съемке над площадью трубок Золотицкого и Чидвинско-Ижмозерского кимберлитовых полей. При проведении эманационной съемки в почвенном воздухе на границах кимберлитовых трубок фиксируются аномальные значения объемной активности радона (рис. 12).

Наблюдаемая на границах трубок аномальная объемная активность радона в перекрывающих отложениях предположительно является отражением развития в околотрубочном пространстве трещиноватых газопроницаемых зон, по которым происходит миграция радона к дневной поверхности. При этом разломы, контролирующие размещение кустов кимберлитовых трубок, вероятнее всего, также могут сопровождаться подобным характером изменения активности радона, где максимальные его концентрации будут наблюдаться над самой зоной разлома.

А)



Б)

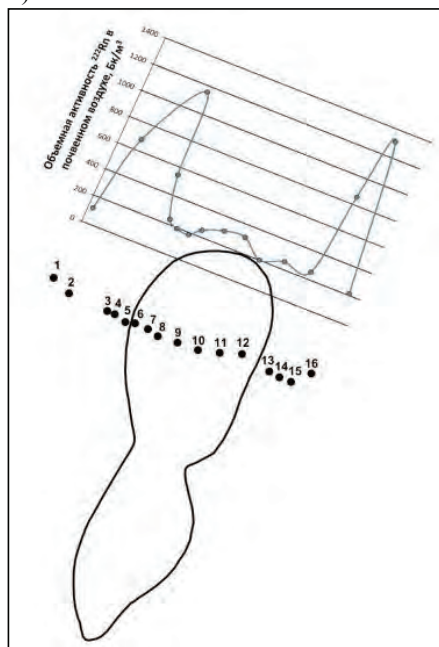


Рис. 12. Пространственное положение концентраций радона на трубке Карпинского-1 (А) и на трубке Чидвинской (Б).

Ослабленные (разломные) зоны вокруг трубок характеризуются еще и тем, что в подземных водах и в самих горных породах наблюдаются большие избытки урана-234 по отношению к урану -238. Так для подземных вод, омывающих трубки отношение урана-234 к урану 238 исключительно велико и достигает 6-7 единиц при фоновом распределении 1.4-1.8. В горных породах затрубочного пространства - это отношение составляет от 1.2 до 3 единиц (последнее значение установлено для трубки Пионерская) при фоновом показателе равном 1. Это указывает на то, что ослабленная зона (разлом) вокруг трубок является на современном этапе активной. Эти показатели являются важными как с позиции понимания физико-химического состояния трубок и их около трубочного пространства, так и с позиции поискового критерия кимберлитовых трубок.

Характер распределения естественных радиоактивных изотопов (U, Th, K), наблюдаемый в коренных породах **трубки Архангельская**, частично находит свое подтверждение в результатах наземной площадной гамма-спектрометрической съемки на территории северной части Золотицкого кимберлитового поля, включающей площади **кимберлитовых трубок Ломоносова, Поморской и Пионерской (Киселев и др., 2016).**

Кимберлитовые трубки располагаются в одной структурной зоне, но при этом суммарная интенсивность гамма-излучения в южной, центральной и северной части поля является отличной. Кимберлитовые трубки в целом оконтуриваются повышенным общим гамма-полем (рис. 13а). Однако, в связи с развитием на территории Золотицкого поля перекрывающих четвертичных и каменноугольных отложений мощностью более 10 метров имеется ряд площадей с повышенной активностью, не связанных с кимберлитами и имеющих вероятно другую природу.

Территория Золотицкого поля в целом обеднена ураном и характеризуется сложным характером распределения данного элемента по площади. Концентрация урана колеблется от 1 до 4 ppm, достигая на отдельных участках значений 7-8 ppm. Явной приуроченности урана к кимберлитовым трубкам не устанавливается (рис. 13б).

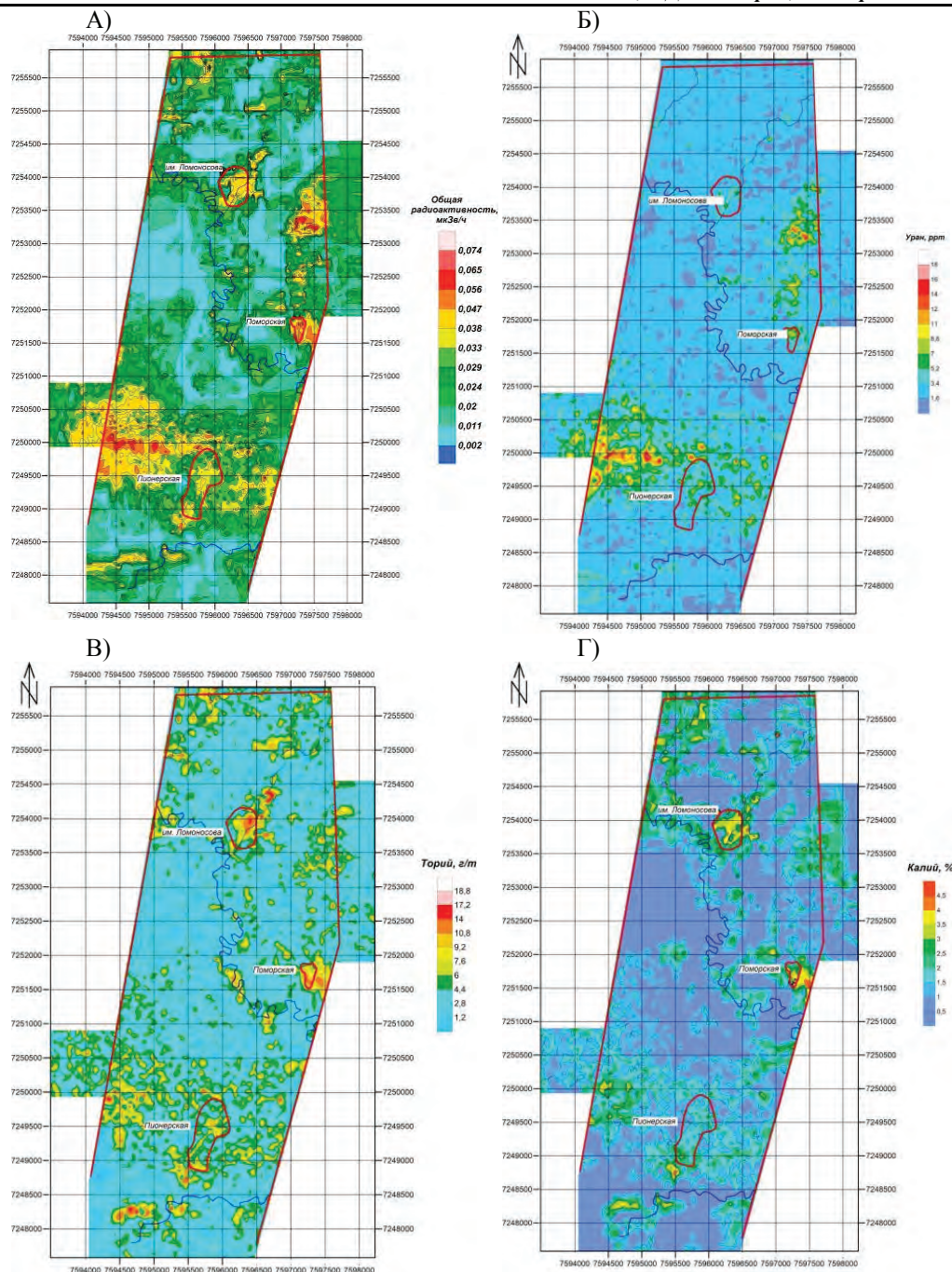


Рис. 13. Распределение суммарной интенсивности гамма-излучения (А), урана (Б), тория (В) и калия (Г) в северной части Золотицкого кимберлитового поля.

Фоновые значения концентрации тория на территории Золотицкого поля находятся в пределах 2-3 ppm. В пределах кимберлитовых трубок концентрация тория, как правило, значительно повышается от 12 до 30 ppm (рис. 13в). Фоновое содержание калия составляет от 1 до 1,5 %. В пределах трубок этот показатель возрастает до 4 % (рис. 13г). Характер распределения тория в целом пространственно повторяет картину

распределения калия, что говорит единой природе формирования аномалий, скорее всего связанной либо с кимберлитовыми трубками, либо с зонами разломов, контролирующих размещение кустов кимберлитовых трубок.

Необходимо отметить, что в условиях Архангельской алмазоносной провинции установление радиогеохимической специализации является нетривиальной задачей, поскольку закрытость территории, выражающаяся в развитии мощной толщи перекрывающих отложений, создает большое количество ложных помех и значительно снижает поисковую эффективность радиометрических методов.

Определить при этом приуроченность аномалий, выделяемых аэрогамма-спектрометрической съемкой, к кимберлитовым телам представляется затруднительно. Поэтому, для того чтобы определить малые флуктуации параметров гамма-поля и концентрации U, Th и K необходимо применение наземной высокоточной гамма-спектрометрической съемки, что и было реализовано в процессе проведения опытно-методических и площадных гамма-спектрометрических исследований на территории Золотицкого кимберлитового поля.

Выявленные в процессе опытно-методических работ на территории Золотицкого и Чидвинско-Ижмозерского кимберлитовых полей закономерности распределения U, Th, K и радона создают хорошие предпосылки использования комплекса радиогеохимических методов, включающего в себя наземную гамма-спектрометрическую и эманационную съемку для поисков коренных источников алмазов на территории Архангельской алмазоносной провинции.

Литература

1. Л.С. Кондратов, Г.П. Кудрявцева, В.И. Старостин и др. «Особенности газового поля кимберлитовых трубок». ДАН РФ, 2005, том 404, №6, с. 817-820.
2. Кондратов Л.С., Старостин В.И., Воинков Д.М., Дегтярев М.А. Газы пород и возможности их использования для поисков кимберлитовых трубок. Вестн.МГУ, сер.4, геология, 2006, с.24-31.
3. V. I. STAROSTIN*, L. S. KONDRATOV, D. M. VOINKOV Gas Field of the Lithosphere and Possibilities of the Use of Adsorbed Gases in Rocks in Prospecting for Mineral Resources. EARTH SCIENCE FRONTIERS Volume 15, Issue 1, January 2008
4. Online English edition of the Chinese language journal Cite this article as: Earth Science Frontiers, 2008, 15(1): 51–56.



Исай Соломонович Гольдберг. В 1953 окончил геологический факультет ЛГУ по кафедре минералогии. Работал в Таджикском геологическом управлении. Занимался поисками золота на Памире и затем - главный геолог партии по разведке Такобского флюоритового месторождения. По результатам работ защитил кандидатскую диссертацию. С 1960 г по 1990г ответственный разработчик в институте ВИТР и затем в Рудгеофизике. (в Ленинграде) геоэлектрохимического метода ЧИМ для поисков скрытых рудных и нефтяных месторождений. Занимался внедрением метода в СССР, в Канаде и Австралии. С 1992 в Австралии главный геохимик компании IONEX Pty. Ltd. Занимался поисками и разведкой месторождений на территории Австралии.

С 2016 г. главный геохимик компании Geochem Pty. Ltd также в Австралии. Основные работы и публикации по теории формирования месторождений и практике их поисков...месторождений на основе картирования полярных геохимических систем (см. статью).



Алексеев Сергей Георгиевич. В 1971г. окончил Ленинградский горный институт по специальности горный инженер-геофизик. С 1973 г работал в всесоюзном институте методики и техники разведки (ВИТР), затем в ФГУ НПП "Геологоразведка" в должности заведующего лабораторией геоэлектрохимических методов. В 1983 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата г.-м.н. Область научных интересов — разработка технологий прогноза и поисков месторождений полезных ископаемых с использованием методов потенциальных полей и геоэлектрохимических методов.



Штоколенко Михаил Бранкович. Окончил геофизический факультет Ленинградского горного института в 1974 году. Работал в отделе геохимии и геоэлектрохимии ФГУНПП «Геологоразведка», кандидат технических наук. Автор более 100 научных публикаций.

И.С. Гольдберг, С.Г. Алексеев, М.Б. Штоколенко
ГЕОХИМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ РУДНЫХ ПРОВИНЦИЙ США AU
(CARLIN-TYPE) НЕВАДА, MO (CLIMAX TYPE) КОЛОРАДО, PB-ZN
(MVT) МИССИССИПИ: СТРОЕНИЕ ГЕОХИМИЧЕСКОГО И
ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ СИСТЕМ И ИСТОЧНИКИ
МЕТАЛЛОВ В РУДНЫХ ПРОВИНЦИЯХ

«В последние годы стало очевидным, что без определения источников рудообразующих веществ мы не в состоянии выяснить условия возникновения эндогенных рудных месторождений, без чего, в свою очередь, нельзя оценить перспективы обнаружения этих месторождений и составить прогнозы рудных запасов».

(В.И. Смирнов, 1969).

Проблема источников металлов, оцененная В.И.Смирновым как важнейшая, при решении теоретических и прикладных вопросов металлогении, относится ко всем

иерархиям рудообразования - от отдельных рудных месторождений до рудных провинций. В настоящей работе рассматривается строение рудных провинций и источники металлов в провинциях, на примере рудных провинций США. на основании геохимических и геофизических данных, которым до сих пор мало, или вообще не уделяется внимание.

1. Геохимические данные. Опыт картирования геохимических систем рудных месторождений показал, что рудные тела и ореолы, их окружающие это только часть геохимической системы Установлено на многих примерах, что положительные аномалии (области обогащения рудообразующими элементами) как правило, географически связаны с областями нижефоновых концентраций, так называемыми отрицательными аномалиями (зонами деплетирования (истощения). По этом признаку такие геохимические системы были определены понятием полярные геохимические системы (Goldberg et al., 2003). Такие системы фрактальны. К наиболее крупным полярным системам, установленным к настоящему времени, относятся полярные системы ранга рудных провинций. Их размеры - обычно от полумиллиона до миллиона кв. км. Области обогащения в системах этого ранга, соответствуют рудным (металлогеническим) провинциям. Географически с ними связаны области деплетирования этих же металлов (области нижефоновых, ниже кларковых концентраций). Такие области, как правило, совпадают с осадочными бассейнами, в большинстве случаев это нефтегазоносные бассейны. Размеры областей деплетирования, как правило, в несколько раз превышают области обогащения. Графически такие геохимические системы имеют эллипсовидную форму, и их внутренняя структура напоминает строение «bird eggs».

Масштабы перераспределения рудообразующих элементов в полярных системах всех рангов, включая системы рудных провинций, дают основание рассматривать зоны деплетирования как источники металлов. этих провинций (Goldberg и др., 2003, Goldberg и др., 2008, Гольдберг и др., 2013).

В настоящей работе рассматриваются закономерности пространственного распределения рудообразующих элементов в системах, ранга рудных провинций, на территории США (рис. 1). Они включают: рудную провинцию золоторудных месторождений Карлин-типа (Carlin Type) Северной Невады, США (Гольдберг и др., 2011); рудную провинцию супергигантской концентрации Мо в месторождениях порфирового типа Клаймакс (Climax) на плато Колорадо (Goldber and Abramson, 2016) и Pb-Zn провинцию стратиформных месторождений (MVT) долины реки Миссисипи США (Гольдберг и др., 2015). Как прогнозная, выделена рудная провинция Au (Mo,U) в восточной части США.

В качестве источника геохимической информации использованы данные региональной геохимической съемки, выполненной геологической службой Америки (USDS) в 2007- 2010. Плотность опробования 1т на 1600 кв.км. (Open File Report 2014-1082 (Smith и др., 2014). Используются данные анализа по горизонту «С» почвенного профиля.

Отдельно по центральной части золоторудной провинции Невада использованы данные геохимической съемки 1972 года (Open-File Report 02-0227, Coombs et al, 2002) по потокам рассеяния, выполненные до начала интенсивных горных работ на площади, включающей основные золоторудные месторождения типа Карлин.

Предположительно выделена рудная провинция по Au (Mo, U) на территории штатов Огайо – Индианна. На этой площади известны небольшие месторождения золота, однако по имеющимся геохимическим и геофизическим признакам эта площадь является потенциально рудной провинцией. В 2014 г по личной инициативе с разрешением геологической службы Огайо И.С.Гольдбергом была проведена геохимическая съемка

1т/25 кв.км. на площади одного из трех выявленных рудных районов в штате Огайо. Данные подтверждают возможность открытия новой рудной провинции, учитывая также данные гравитационного поля.

Геохимические карты построены в трех градациях, с учетом статистического распределения рудообразующих элементов относительно средних значений. Гистограммы распределения элементов в геохимических системах трех рудных провинций показаны на рис. 2. На графиках выделяются три популяции: фоновые концентрации близкие к средним значениям в земной коре, выше и ниже фоновых. Относительно этих уровней концентраций выделены геохимические системы, объединяющие зоны обогащения и деплетирования. Более детальная информация приводится при описании соответствующих геохимических систем рудных провинций. Следует отметить, что в Open File Report 2014-1082 (Smith и др., 2014) приведены подобные гистограммы с выделением трех популяций по различным элементам по всей выборке для территории США. Однако, все геохимические карты распределения элементов построены во всем диапазоне концентраций, без учета существующих фиксированных уровней концентраций. Вместе с тем селективное выделение популяций выше и ниже среднего уровня концентраций элементов позволяет установить области их мобилизации и области концентрирования...

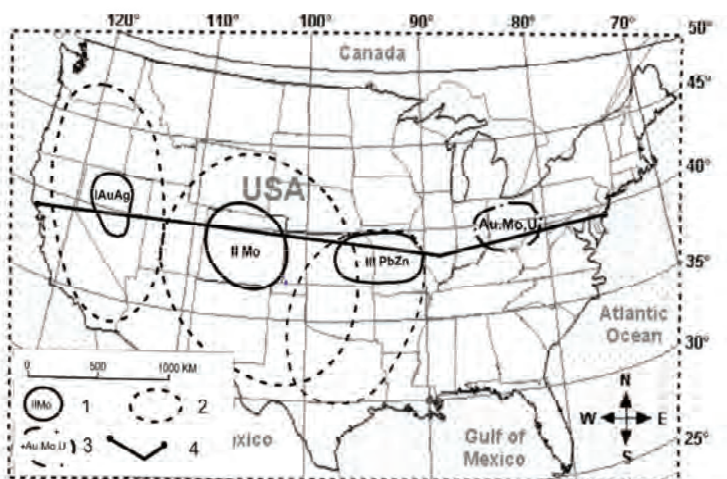


Рис. 1. Рудные провинции США (ядерные части полярных геохимических систем-области обогащения рудообразующими элементами) : I-I. Au-Ag (Карлин-Тип) ; II. Mo (Клаймакс-Тип); III. Pb-Zn (Миссисипи). 2. Контурные полярных геохимических системы рудных провинций (области деплетирования). 3. Прогнозируемая рудная провинция (Au, Mo, U) 4. Линия гравитационного профиля по 39°N.

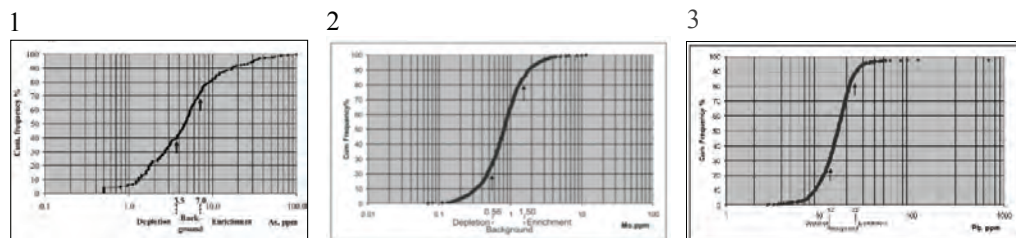


Рис. 2. Гистограммы распределения As в центральной части геохимических систем: 1 - золоторудных месторождений Невады; 2 - Mo месторождений Клаймакс; 3 - Pb-Zn месторождений Миссисипи.

Ниже приводится краткая характеристика строения полярных геохимических систем трех металлогенических провинций на территории США и их положение в гравитационном поле.

1.1 Месторождения золота Карлин типа в полярной геохимической системе в рудной провинции на площади Большого Бассейна, Невада, США.

Полярная геохимическая система золоторудных месторождений Невады выделена по данным аппроксимационного распределения As в западной части США (рис. 3) (Smith и др. 2014). На площади, в пределах Большого Бассейна Северо-Американских Кордильер, установлена крупная золоторудная провинция рис. 5. Основные запасы золота (6000 т.) сосредоточены в золото-мышьяковых месторождениях Карлин-типа, локализованных в пределах четырех линейных трендов (рудных районов) Наиболее крупный по запасам рудный район - Карлин-тренд (8 км x 65 км), содержит 3300 т. золота. Золото присутствует в ассоциации с мышьяком и серебром. По запасам золота эта провинция уступает только месторождению Витватерсранд.

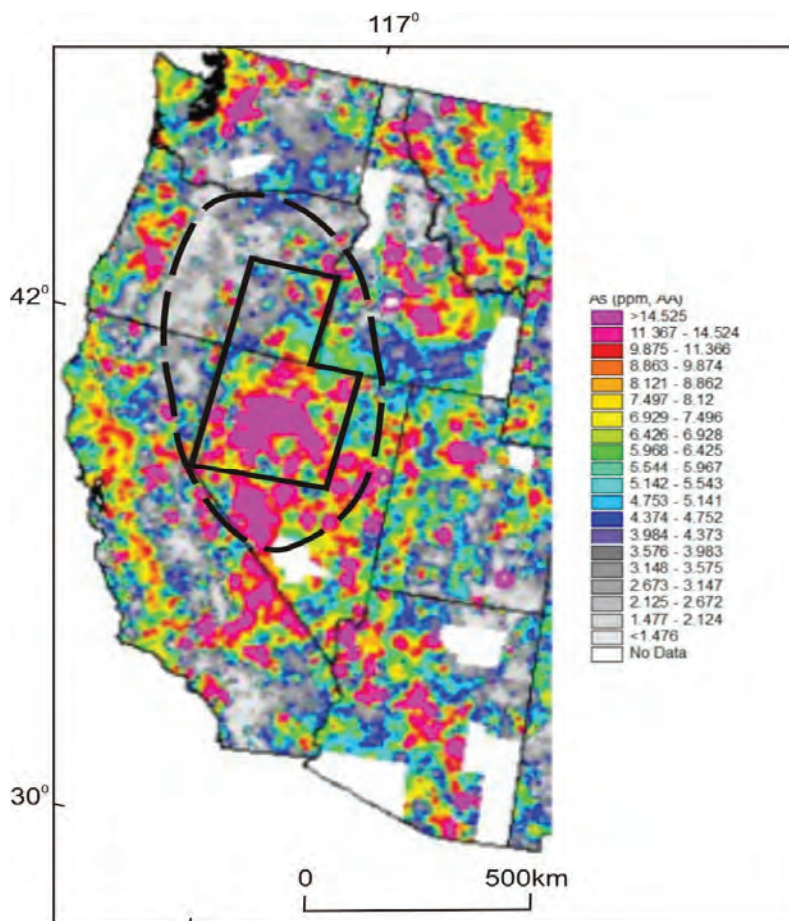


Рис. 9 Распределение концентраций As в западной части США, включая территорию Большого Бассейна (Smith и др., 2014). Овальный пунктирный контур - предполагаемый контур полярной геохимической системы по данным распределения мышьяка. Сложной конфигурации прямоугольник, внутри овала - центральная часть геохимической системы рассматривается (см. Рис.4) на основе данных геохимической съемки (Coombs et al, 2002).

В пределах рудной провинции Большого Бассейна золото присутствует также в эпitherмальных месторождениях в ассоциации с серебром; в порфировом типе, совместно с Cu и Mo, в полиметаллических жилах и рассеянная минерализация Ag – Au. (Johnston и др., 2003).

Общая площадь геохимической системы рудной провинции, на основании данных распределения мышьяка установленная на основе аппроксимационной модели (рис. 3), составляет, примерно, 500 000 кв. км.

На рис. 4 показано распределение As в пределах центральной части рудной провинции.

Эта площадь включает северо-восточную часть штата Невада и юго – восточную часть В геохронологической истории северная часть штата Невада в период от кембрия до нижнего карбона представляла собой стабильную палеоконтинентальную окраину. В этот период в восточной части бассейна в меогеосинклинальной обстановке отлагались преимущественно осадки карбонатного состава, преобразованные в известняки, доломиты, алевролиты и кварциты. На западе в эвгеосинклинальной обстановке отлагались, преимущественно, кремнистые осадки, преобразованные в сланцы, аргиллиты, кварциты, кремнистые сланцы с небольшим количеством известняков.

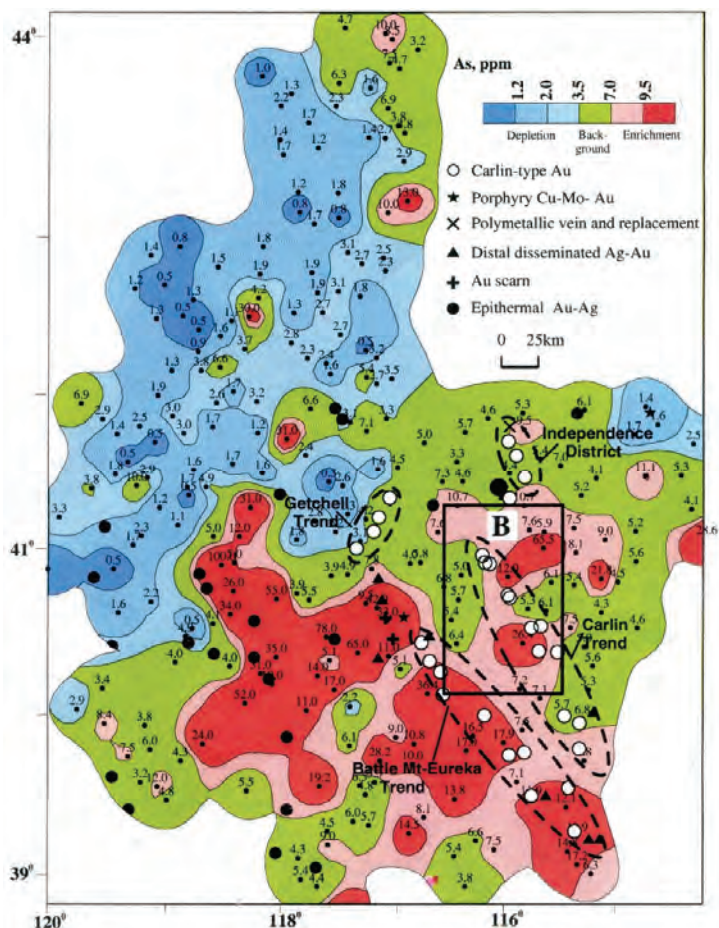


Рис. 4. Распределение концентраций мышьяка в центральной части золоторудной провинции, включающих четыре рудных района (фрагмент полярной геохимической системы золоторудной провинции Невада). В – область локализации основных месторождений Au (Ag) Карлин тип в рудном районе Карлин Тренд.

В позднедевонское - среднемиссисипское время происходили тектонические движения, в результате которых по надвигу (Roberts Mts. Thrust) кремнистые породы ордовического возраста западного фланга были надвинуты на карбонатные породы, отложенные на шельфе. Современная обстановка определяется третичной тектоникой, мощным магматизмом и гидротермальной активностью (Muntean и др., 2011).

Распределение концентраций As в Центральной части геохимической системы

Таблица 1. Уровни концентрации As в потоках рассеяния и в почвенных пробах при региональной геохимической съемке по данным 1000 проб.

Elements	Depletion	Background	Enrichment	Min	Max	Average
As, ppm	<=3.4	3.5 – 7	>=7.0	0.5	797	9.5
	(1.2;0.5)	(4.7;1.9)	(30,1; 62)			

* в скобках: средние концентрации и стандартные отклонения (standart deviation).

Распределение As характеризуется отчетливым полярным строением (таблица 1). Граница, разделяющая области обогащения и деплетирования, сближенным при Среднее содержание мышьяка в зоне обогащения 30.1 ppm. Зоны обогащения As пространственно совпадают с выходами палеозойских известняков, доломитов и сланцев, а в южной части – с выходами третичных эффузивов. В пределах зоны обогащения мышьяком локализована большая часть месторождений золота различных типов, в том числе: золоторудные месторождения Карлин типа в Баттел Маунт-Эурека и Карлин трендах. В юго-западной части площади к области обогащения As приурочены эпитеральные месторождения золота.

Область с нижефоновой концентрацией As локализована в северо-западной части площади на площади 32 000 кв. км. Она проявляется в третичных вулканических и палеозойских осадочных породах. Среднее содержание мышьяка в деплетированной области, составляет 1.2 ppm.

Источники металлов в месторождениях Карлинского типа в Неваде

Имеется большая литература по генезису месторождений и, главным образом, по источникам золота. Рассматриваются магматические источники в работах Sillitoe и Bonham, 1990; Henry и Ressel, 2000; Johnston и Ressel, 2004;; Muntean и др., 2011. Комплексные источники предполагаются в работе от циркулирующих вод в пределах 10 км, до глубинных источников, с участием гранитоидов средней и нижней коры при участии тепловых мантийных потоков (Cline, 2004). Близкая модель с участием различной по глубине флюидных потоков приведена в работе Howard (2003). Представления об амагматических источниках рассмотрены в работе Ilchik и Barton (1997). Однако и в этом случае остается не определенным области амагматических источников золота.

Изложенные выше данные ближе всего соответствуют представлениям, рассмотренным в работе Groves и др. (2004). В этой работе на основе геологических данных, формирование месторождений в золоторудной провинции рассматриваются как результат длительного по времени взаимодействия орогенных, бассейновых и гидротермальных процессов над литосферной платформенной плитой.

Однако, ни в одной из цитируемых работ, не рассматривается сценарий формирования региональной гетерогенности распределения рудообразующих элементов, как свидетельство их перераспределения с образование промышленных концентраций. Эти геохимические данные, раскрывающих эволюционный процесс формирования месторождений в рудной провинции Невады, остается без внимания.

Вместе с тем, распределение концентраций мышьяка, золота и серебра на площади, включающей золоторудные месторождения Карлин Типа, позволяет сделать выводы об областях мобилизации металлов и условиях их концентрирования в месторождениях.

По мышьяку, имеющему устойчивую связь с золотом (соотношение $As/Au - 1/1000$) рудообразующему элементу, прослежено трёхкратное перераспределение металла от рудной провинции до рудного узла (в настоящей статье рассматривается только масштаб ранга рудной провинции). В распределение As в центральной части провинции отчетливо проявляется пространственная сопряженность областей обогащения (привноса) и областей деплетирования (выноса, мобилизации). Очевидно, что золото, парагенетически связанное с мышьяком в рудах, перераспределяется совместно с мышьяком в объеме геохимических систем.

1.2. Месторождения Мо в полярной геохимической системе рудной провинции Клаймакс на плато Колорадо.

Молибденовая провинция Клаймакс самая крупная промышленная концентрация молибдена в мире. Запасы Mo в месторождениях - 2.18 мл. т., со средним содержанием в руде Mo 0.24%.

Основные месторождения Mo локализованы в западной части США на плато Колорадо (рис. 5).

Молибденовая минерализация пространственно приурочена к малым интрузиям монзонитов, гранодиоритов и граносиенитов кальциево-щелочного состава (A-type, calc- alkaine) третичного возраста. В этих месторождениях молибден является единственным промышленным рудным элементом (Lundington и Plume, 2009). Молибденовая минерализация проявляется над апикальной частью интрузий. Молибденит локализуется в кварцевых жилах штокверкового типа, обогащенных свинцом и ниобием, отмечается высокая концентрация фтора.

Породы фундамента плато представлены метаморфизованными гранитами, гнейсами и кристаллическими сланцами протерозойского возраста. Чехол плато сложен осадочными толщами от нижнего палеозоя до антропогена. В период 34 -29 млн. до 5 млн. лет породы осадочного чехла были интродуцированы кварц-монзонитами до граносиенитов (Lundington и Plume, 2009).

Плато Колорадо окружено практически по всему периметру предгорными нефтегазоносными бассейнами. Они выполнены палеозойскими и мезозойскими осадочными породами. Основные нефтяные и газовые залежи связаны с меловыми отложениями и частично с палеозойскими формациями. Глубина залежей 1000 м – 2500 м. По данным Miller (2009) в нефтесодержащих сланцах бассейна Piseance отмечается высокая концентрация молибдена – 2-50 ppm. Кроме того, эти породы обогащены Pb до 100 ppm, Li - 500 ppm, F - 5000 ppm. Как известно, это характерная специализация нефтегазоносных сланцевых формаций, это и элементы рудной минерализации месторождений Колорадо.

Геохимическое строение рудной провинции. Определение границ площади геохимической системы основано на распределения молибдена в трех популяциях (таблица 2) С учетом этих данных рассматривается распределение концентраций молибдена в пределах меридиан $115^0 - 95^0$ на площади 2. 500.000 кв. км.

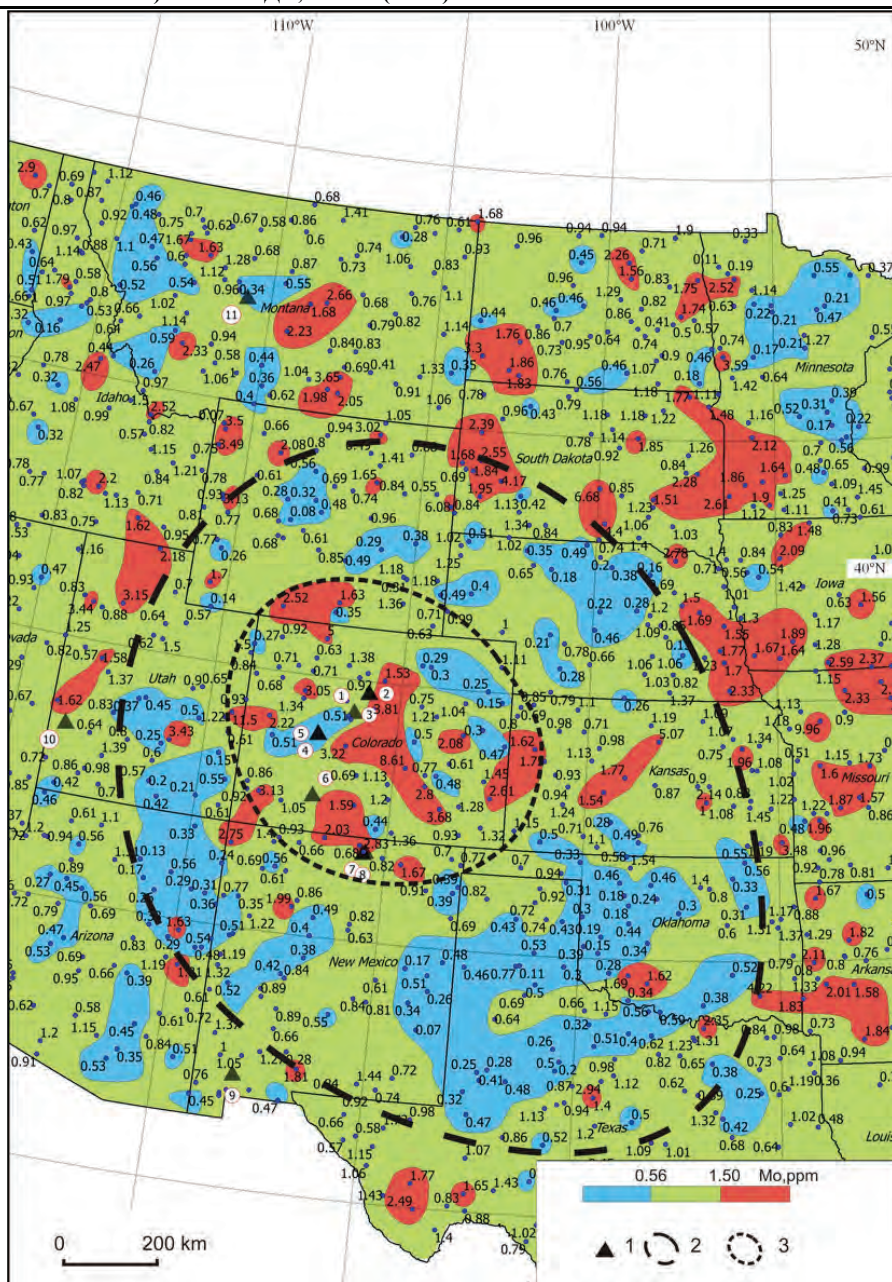


Рис. 5. Полярная геохимическая система рудной провинции молибденовых месторождений Клаймакс типа на плато Колорадо США. Данные геохимической съемки. 1. Месторождения Мо (см. рис. 1). 2. Внешний контур геохимической системы, выделяет основные области с концентраций молибдена ниже фона, пространственно совпадающих с основными нефтегазоносными бассейнами (см. рис. 1) 3. Ядерная часть геохимической системы (основная область обогащения).

Месторождения Мо и их номера: 1. Месторождения Мо и их запасы металла в тоннах (данные по Ludington и Plumee, 2009) (1). Climax (10)790 000, (2). Henderson (1,070,000), (3). Urad (29,100), (4). Mt. Emmons (344,000), (5). Redwell Basin (18,400), (6). Silver Creek (124,000), (7). Questa (442000), (8). Log Cabin (53, 400), (10) Pine Grove (38, 336), (11) Mt Hope, Nevada (460 000).

Таблица 2. Статистические характеристики региональной площади. Содержание Мо ppm (г/т).

	N	Mid	Min	Max
a	239	0.38	0.07	0.56
b	440	0.92	0.57	1.49
c	138	2.52	1.57	11.8

N – число проб, a – выборка проб с нижефоновыми концентрациями, b- выборка проб с фоновыми концентрациями, c-выборка проб с вышефоновыми концентрациями.

На плато Колорадо, в ядерной части геохимической системы, где локализованы основные месторождения Мо, выделяются локальные аномалии со средней концентрацией 2,52 г/т. Общая площадь этих аномалий в пределах ядра системы – 140 000 кв. км.

Центральная зона обогащения Мо окружена областями с концентрацией Мо, ниже фона (менее 0,56 г/т). Их общая площадь 480 000 кв. км. Выделяются, хотя и достаточно условно, четыре деплетированные области по молибдену, которые пространственно совпадают с нефтегазоносными бассейнами. Наиболее интенсивная область деплетирования на юго-востоке. Она пространственно совпадает с бассейнами Пермиан (Permian) и Ратон (Raton) и бассейном Анадарко (Andarco). На западе – с бассейном Сан Унита Рисеанс (San Unita Piceance) и на севере и северо –востоке с Грин ривер (Green River) и Деневеер Жазберг (Denever Jasberg) бассейнами. Следует отметить, что области деплетирования интенсивно проявляются на площадях бассейнов с, преимущественно сланцевыми породами.

Источники молибдена в месторождениях рудной провинции Клаймакс

На основании статистических данных распределения концентраций молибдена можно оценить масштабы его перераспределения в пределах геохимической системы рудной провинции. В таблице 3 приведен баланс привноса-выноса молибдена. Расчет сделан на 500 метров глубины, что при таких масштабах системы можно считать минимальным. Как видно, масштабы привноса-выноса близки между собой и примерно на два порядка превышают ресурсы молибдена в месторождениях. Очевидно, это крайне приближенные при заведомо заниженной мощности и зоны перераспределения. Но даже при такой оценке устанавливаются огромные масштабы перераспределения молибдена на площади геохимической системы рудной провинции.

Дальнейший процесс обогащения Мо, на основании имеющихся данных по полярным системам в других провинциях, происходит в системах следующих порядков и обусловлен конкретными геологическими (в широком смысле) процессами.

Время формирования геохимической системы и, соответственно время формирования месторождений молибдена, определяется возрастом пород, включенных в геохимическую систему.

Таблица 3. Баланс привноса – выноса Мо в геохимической системе рудной провинции месторождений Мо, Клаймакс тип, США.

Геохимические аномалии Мо	Средние содержания, г/т	Привнос - Вынос г/т	Привнос - Вынос г/м ³	Площадь, м ²	Привнос - Вынос на 1м, Мл.т	Привнос - Вынос, Мл.т на 500 м
Среднее содержание Мо 0,98. Площадь геохимической системы ,						
Области деплетирования	0,38	0,6	1,5	4,8 x 10 ¹¹	0,72	360
Области обогащения	2,52	1,54	4,02	1,4 x 10 ¹¹	0,56	280

1.3. Стратиформные Pb-Zn-Cu месторождения долины реки Миссисипи (США) в геохимической системе рудной провинции.

В настоящем разделе дается краткое описание сложной геологической и геохимической структуры геохимической провинции. Более детально эти вопросы рассмотрены в работе. Гольдберг и др., (2015). Стратиформные месторождения долины рек Миссури-Миссисипи образуют систему сближенных кластеров на площади в 140 000 кв км на плато Озарк. На рис. 6 показано положение четырех основных рудных районов. Наиболее крупный рудный район - Ю-В Миссури, с гигантским месторождением (рудным узлом) Вибурн Тренд (Viburnum Trend) (выделен в квадрате В). (Leach, 1994), Рудные месторождения расположены в полосе меридионального направления, протяженностью ~ 80 км. Резервы месторождений составляют по Pb – 28,7 мл. т., Zn – 1,640 мл. т, Cu – 0,313 мл. т., Ag – 1,620 т. Содержанием Pb – 5,8%, Zn -1,1%, Cu – 0,3% (Leach, 2010)..

Рудная минерализация приурочена к доломитизированным известнякам, мощностью до 150 м (Bonne Terre Dolomite). Они являются основными рудовмещающими породами. Эти породы подстилаются кембрийскими отложениями представленными аркозовыми песчаниками и конгломератами, до 150 м мощности (Lamotte Sandstone) и перекрываются доломитами, кварцевыми песчаниками нижнего ордовика, мощностью до 350 м.

Геохимическое строение рудной провинции

Геохимическое строение рудной провинции рассматривается по свинцу. В пределах исследуемой площади «А» средняя популяция Р - составляет 16.9 ppm. Примерно 10% проб соответствуют вышефоновым концентрациям и 20% характеризуются нижефоновыми концентрациями (таблица 4).

Аномальные концентрации свинца пространственно группируются, образуя области обогащения и деплетирования

Область обогащения Pb (ядерная часть системы) расположена в северной части геохимической системы, в основном, в пределах плато Озарк. Среднее содержание свинца в этой области - 39 ppm и максимальное значение 690 ppm. Все стратиформные месторождения локализованы в пределах зоны обогащения свинцом. Эта площадь примерно 140 000 кв. км. соответствующей по определению рудной провинцией.

Области деплетирования. В пределах юго-западной и южной части площади выделяются две основные области с нижефоновыми концентрациями свинца, среднее значение 8.7 ppm. Эти области расположены в пределах юго-восточной части сланцевого нефтегазоносного бассейна Анадарко (Porov M.A., et al., 2001) и на юге в пределах горного района Вичита (Wichita). Кроме того, области нижефоновых концентраций свинца пространственно приурочены к нефтегазоносному бассейну Аркома, расположенному к югу от плато Озарк.

Площадь бассейна Анадарко примерно 100 000 кв. км. Это один из наиболее глубоких бассейнов на площади Северной Америки и один из крупных нефтегазоносных бассейнов. Мощность осадочной толщи в южной части бассейна достигает 12 км. (Porov, et al., 2001). В пределах горного хребта Вичита области деплетирования совпадают с ранне-кембрийскими гранитами. Они прослеживаются вдоль осевой части горного района на 97 км. Возраст этих пород по данным урано-свинцового метода 535-до 550 мл. лет (King. and Beikman, 1976). Общая площадь областей с нижефоновыми концентрациями свинца - примерно 200 000 кв. километров.

В целом, области деплетирования и обогащения представляют полярную геохимическую систему ранга рудной провинции на площади 1 300 000 кв. км.

Источники свинца в стратиформных месторождениях. Один из принципиальных вопросов, который обсуждается во многих работах, это источник свинца в

месторождения долины реки Миссисипи. В работе Doe и Delavux (1976) показано, что значительная часть свинца в Pb-Zn месторождениях обладает повышенной радиоактивностью. Возраст радиоактивного свинца оказывается близким к кембрийскому, в пределах 500 мл. лет. Вместе с тем граниты на плато Озарк, с которыми предполагается связь имеют протерозойский возраст. Вместе с тем, области мобилизации свинца в геохимической системе рудной провинции локализованы именно в районе выходов кембрийских гранитов, в пределах горного района Вичита (Wichita), и продуктах их разрушения на площади бассейна Анадарко. Расчеты показывают (Гольдберг и др., 2015) что доля радиогенного свинца в общем балансе перераспределения свинца в пределах рудного района близка к установленным соотношениям (Doe и Delavux, 1976). Это данные согласуются с установлением присутствия радиоактивного изотопа свинца кембрийского возраста в стратиформных месторождениях.

Таблица 4. Статистические характеристики распределения Pb (площадь А, 1 500 000 кв.км).

	N	Pb, ppm	Pb, ppm	Pb, ppm
		Mid	Min	Max
A	187	8.7	2.8	11.2
B	642	16.9	11.3	24
C	95	39	23	681

N – число проб, *a* – выборка проб с нижефооновыми концентрациями, *b* – выборка проб с фооновыми концентрациями, *c* – выборка проб с вышефооновыми концентрациями.

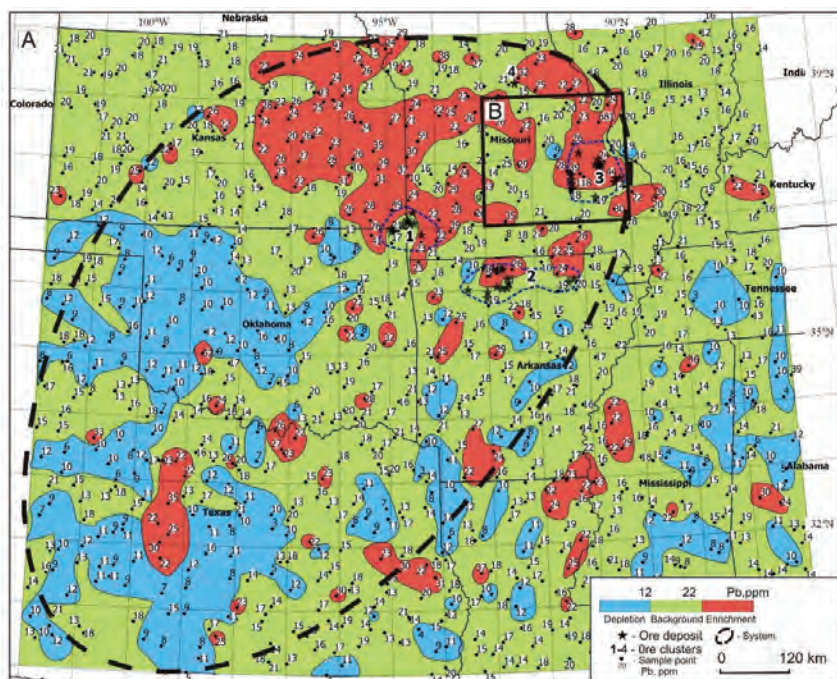


Рис. 6. Полярная геохимическая система рудной провинции стратиформных месторождений долины реки Миссисипи, США. Крупные звездочки внутри площадей, выделенных синим пунктиром, соответствуют рудным районам месторождений MVT 1. Tri-State; 2 Northern Arkansas; 3 Southeast region: Viburnum Trend и Old Led Belt; 4. Southern Missouri Barite и Central Missouri Barite.

2. Геофизические данные

2.1 Введение. К настоящему времени выполнены исследования с использованием данных гравитационных наблюдений по характеру плотностных неоднородностей геологической среды в нефтяных и рудных районах. В данной работе рассматривается положение полярных геохимических систем (рудных провинций) в гравитационном поле территории США.

Исходные данные гравитационного поля (файл us//bouguer.grd) получены из открытого доступа с сайта Геологической службы США (<https://mrdata.usgs.gov/gravity/bouguer/>). Значения поля представлены в редукции Буге в поликонической равновеликой системе координат. Шаг матрицы составляет 4 км. В ходе обработки данных гравитационных наблюдений проводился расчет значений избыточной плотности горных пород путем инверсии поля в 3D геометрии. Методика обработки данных включала в себя ряд последовательных операций (Штоколенко и др., 2013; Алексеев и др 2016; Алексеев и др., 2017) :

- выделение частотных составляющих поля путем полосовой фильтрации;
- определение предельной глубины предполагаемого источника (избыточной массы) для каждой частотной составляющей поля;
- формальный пересчет каждой составляющей поля на установленную предельную глубину;
- пропорциональный переход от составляющих поля в каждой точке нижнего полупространства к избыточной плотности путем решения прямой задачи, при этом положительные значения плотности соответствуют зонам уплотнения пород относительно среднего значения по горизонтальному слою, отрицательные — зонам разуплотнения;

Гравитационное поле от получаемого по этой методике распределения избыточной плотности пород (решение прямой задачи) всегда удовлетворительно соответствует исходному полю. При обработке результатов наблюдений по региональным профилям показано соответствие получаемых плотностных разрезов с результатами сейсмических наблюдений (Козлов и др., 2009). Для ряда регионов получена пространственная приуроченность положения рудных месторождений к глубинным зонам разуплотнения пород (Штоколенко и др., 2013).

2.2 Положение геохимических систем рудных провинций США в гравитационном поле

На рис. 7 приведена карта распределения избыточной плотности пород в глубинном слое

В центральной части территории, в направлении с запада на восток, выделяются четыре участка характеризующихся пониженными значениями избыточной плотности пород (участки разуплотнения) площадью от 300 до 500 тыс. кв. км.. Первые три из этих участков пространственно приурочены к трем рудным провинциям, рассмотренным ранее по геохимическим данным. На этом же рисунке приведена линия, примерно соответствующая 39 параллели (линия 39), по которой построено распределение избыточной плотности пород в вертикальном разрезе (рис. 8).

В данном разрезе можно выделить четыре крупные "чашеобразные" структуры, характеризующиеся повышенной плотностью пород с разуплотнениями в центральной части. Линейные размеры этих структур в пределах тысячи км.

Первая из этих структур прослеживается по линии профиля от 120° до 112° меридиана. Это интервал по широте совпадает с контуром золоторудной провинцией Карлин. Наиболее погруженная часть этой структуры расположена интервале 112° - 115° меридиана. В этой структуре отмечаются наиболее интенсивные градиенты изменения избыточной плотности пород.

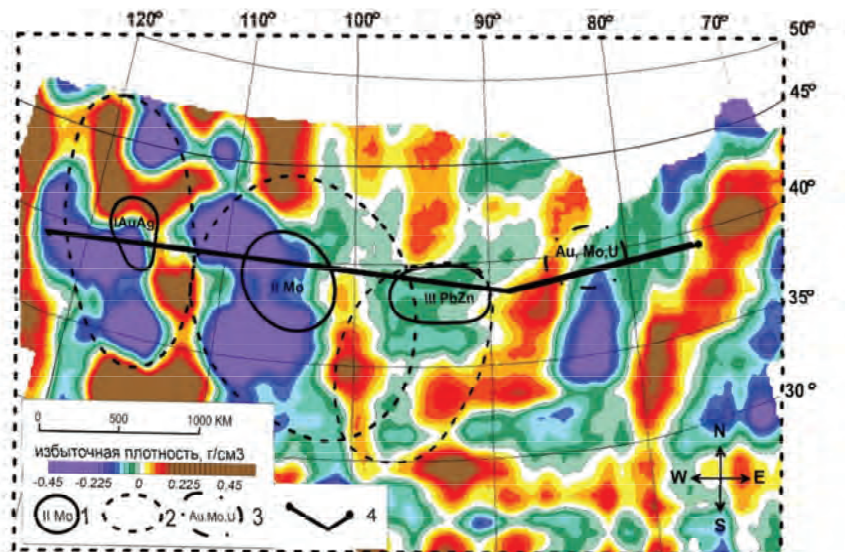


Рис. 7. Распределение избыточной плотности пород в глубинном срезе (условная глубина 36 единиц) 1- Рудные провинции в полярных геохимических системах, с порядковыми номерами и металлогенической специализацией 2 - Контуры полярных геохимических систем рудных провинций. 3. Рудная провинция (Au, Mo, U) в пределах штатов Огайо –Индияна (прогнозная по геохимическим и геофизическим данным, см раздел 1.4). 4- линия разреза по профилю 39⁰ (см. рис. 8):

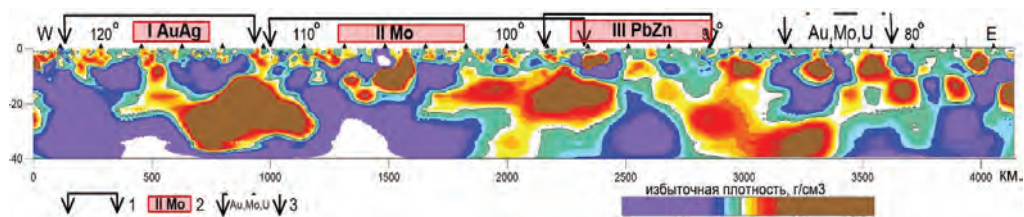


Рис. 8. Распределение расчетных значений избыточной плотности пород по широте 39⁰ (Глубина в условных единицах).. Нал разрезом показаны точки пересечения линии профиля с геофизическими меридианами. 1- Границы геохимических полярных систем ранга рудных провинций по линии профиля. 2 – Размеры зоны обогащения (границы рудных провинций),. 3 - Контур предполагаемой рудной провинции.

Вторая структура протягивается в интервале 110⁰ - 98⁰, третья — 94⁰ - 88⁰, четвертая — 88⁰ - 81⁰ меридианов. Положение трех первых указанных структур соответствует границам известных рудных провинций. Предполагаемый контур провинции намечается по геофизическим данным пределах четвертой структуры от 89⁰ до 82⁰ меридиана. Геохимические данные позволяют предполагать золоторудную минерализацию в ассоциации с молибденом и ураном.

В свою очередь указанные глубинные структуры разделяются на более мелкие, залегающие ближе к дневной поверхности и имеющие протяженность от десятков до первых сотен километров. Внутри таких структур в пределах рудной минерализации отмечаются участки разуплотненных пород чашеобразной формы. В качестве примера на рис. 9 показана структура гравитационного поля в пределах золоторудных месторождения Карлин типа в Баттел Маунт-Эурека и Карлин трендах на территории штата Невада. Однако для точного картирования границ таких структур необходимы более детальные измерения гравитационного поля.

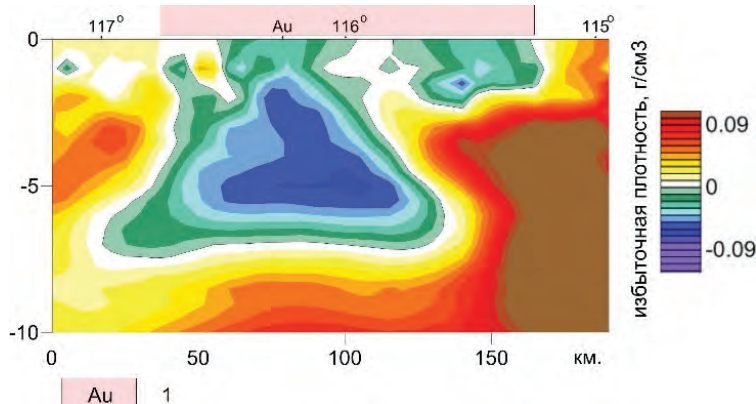


Рис. 9. Распределение расчетных значений избыточной плотности пород по профилю 40°N, через золоторудные месторождения Карлинского типа в Баттел Маунт-Эурека и Карлин трендах на территории штата. Невада В верхней части разреза показаны точки пересечения линии профиля с географическими меридианами. 1.- интервал локализации золоторудных месторождений, в пределах зоны обогащения As.

3. Общие выводы

Территория США была выбрана как полигон для изучения распределения металлов в наиболее крупных геохимических системах, учитывая равномерную сеть геохимического опробования на всей площади и высокочувствительные методы анализа проб. Такие данные позволили выявить области с нижефоновыми, ниже кларковыми концентрация рудообразующих элементов на площади сотни тысяч кв. км, сопряженные с областями обогащения этих же элементов.. Такие крупные геохимические системы полярной структуры включают рудные месторождения в зонах обогащения, определенного состава и генетического типа, соответствующие масштабу рудных провинций.

Это первая ступень перераспределения рудообразующих элементов, в которых концентрация рассеяния в породах рудообразующих элементов повышается, примерно, на 1-2 порядка по отношению к кларку. Дальнейшие процессы «сжатия рудной атмосферы», термин введенный Н.И.Сафроновым, (1971), происходят в системах следующих более локальных рангов, уже в пределах рудных провинций.

Данные гравитационных наблюдений дают новые критерии к выделению геохимических систем ранга рудных провинций. Специфические «чашеобразные» структуры могут служить дополнительным критерием оценки перспективности территорий. Это новый признак для прогнозирования и выявления рудных объектов от ранга рудных провинций до локальных систем. Кроме того, распределение плотностных свойств геологической среды может быть ключевым в понимании механизма перераспределения рудообразующих элементов в пределах геохимических систем.

Вопросы механизма, обеспечивающего процессы перераспределения элементов такого масштаба, остаются во многом еще не решенными. Вместе с тем, данные гравитационных наблюдений позволяют ответить на один из основных вопросов, связанных с условиями переноса рудных компонентов из областей деплетирования в области отложения. Во многих случаях этот процесс охватывает синеклизы и области к ним примыкающие, как правило, области повышенного рельефа. На полученных геохимических данных, для формирования рудообразующих систем ранга рудных провинций предполагается существование субгоризонтальных структур (каналов), связывающих области деплетирования, с рудными провинциями. Как было показано,

наибольшие площади деплетирования совпадают пространственно с положением нефтегазоносных бассейнов.

По данным сейсмических наблюдений (Кузин, 2015) во многих случаях нефтяные и рудные месторождения находятся в обрамлении наклоненных и листричных разломов. Однако в известных работах (на основании сейсмических данных процессы рудообразования увязываются с формированием рудных месторождений протекающие главным образом в границах бассейнов и в областях катагенной разгрузки (например, Павлов и др., 1995; Зубков и Развозжаева, 2012) и отдельно в рудных провинциях.

Вместе с тем, как показывают данные геохимического картирования в полярных геохимических системах ранга рудных провинций, связь зон деплетирования и обогащения имеет глобальные масштабы и проявляется в пределах всей системы. С общих позиций этот вопрос рассмотрен в обобщающей работе В.И. Старостина (2012) по металлогении. При погружении осадочные породы нефтяных бассейнов сопровождаются возникновением флюидонасыщенных зон разуплотнения. С глубиной прогибание вызывает уплотнение земной коры. Под действием возрастающей с глубиной температурой флюиды разогреваются в результате создаются условия для нефти и рудообразования. Однако и этот общий подход требует детализации при интерпретации полученных геохимических данных.

Возможное решение этой проблемы намечается при использовании данных гравитационных наблюдений, где в качестве основной характеристики исследуются плотностные свойства пород. На основании приведенных в работе гравитационных данных выделяются субгоризонтальные структуры разуплотнения, в пределах, которых происходит миграция элементов.

На основании экспериментальных и полевых наблюдений рассматривается (Гольдберг, 2005) электрохимический механизм мобилизации рудных элементов из пород и их миграцию в естественных электрических полях различной природы.

Литература

1. Алексеев С.Г. Сенчина Н.П. Шаткевич С.Ю. Штокаленко М.Б. 2016. Достоинства и недостатки томографии потенциальных полей.// В Материалах 43 сессии Междунар. Науч. Семинара им. Успенского. Воронеж: ООО ИПЦ «Научная книга» Сс 10-13.
2. Алексеев С.Г. Сенчина Н.П. Шаткевич С.Ю. Штокаленко М.Б. Мовчан И.Б., 2016. Обоснование адекватности томографии потенциальных полей.// В Материалах 43 сессии Междунар. Науч. Семинара им. Успенского. М.:ИФЗ РАН. Сс 21-26.
3. Гольдберг И.С., 2005. Рудообразование в геоэлектрoхимических системах.// Геология и охрана недр. «КазГЕО». 2 (15) Сс28-40
4. Гольдберг И.С., Абрамсон Г.А., Лось В.Л. 2011. Источники металлов в золоторудных месторождениях Карлентренда в северной Неваде по геохимическим данным.// Геология и охрана недр. «КазГЕО». 4(41). Сс45-59/
5. Гольдберг И.С., Абрамсон Г.А., Лось В.Л., Розенцвeт С.Г. 2015. Источники металлов в месторождениях стратиформного типа по данным геохимического картирования на примере, региона долины реки Миссиссипи, США.// В Сб.: Геохимическое картирование поиски и геоэкология М.,:ИМГРЭ. Сс.177-193
6. Зубков В.С., Развозжаева Э.А. 2012, Рудная минерализация в нафтитах и проблема генезиса.// Геохимия. 4. С.339-349.
7. Козлов С.А., Алексеев С.Г., Лебедин П.А, Штокаленко М.Б. 2009. Сопоставление сейсмических разрезов по региональным профилям с распределениями сингулярных источников потенциальных полей, эффективной избыточной плотности и эффективной намагниченности пород // Материалы 36-й сессии Междунар. науч. семинара им. Д.Г.Успенского. Казань, Изд-во Казан. гос. ун-та.
8. Кузин А.М. 2015. Дегазация и методологические аспекты интерпретации данных сейсмического метода.// «Пространство и время», 3.(21), Сс 270-271.
9. Павлов Д.И., Горжевский Д.И., Голева Г.А., Колееников М.К., Карцев А.А., Липаева А.В. 1991. Сопряженность рудо и нефтеобразующих систем в осадочных бассейнах и прогноз рудных месторождений.// Геология рудных месторождений. 5.
10. Павлов Д.И. и Карцев А.А. 1995. Зоны катогенной разгрузки подземных вод нефтегазовых бассейнов и осадочный рудогенез.//.. Геология рудных месторождений, том 37, 2. С. 122-131.
12. Смирнов В.И., 1969. Об источниках вещества эндогенных полезных ископаемых.// Изв. АН СССР, Сер. Геол. 1969. №3.
13. Старостин В.И. 2012. Металлогения.// М. 558 с.
14. Штокаленко М.Б., Алексеев С.Г. 2013. Новая технология плотностной и магнитной томографии по данным гравиметрических и магнитных съемок. Алгоритмы и применение // 83-я сессия Научно-методического совета по геолого-геофизическим технологиям поисков и разведки месторождений полезных ископаемых (НМС ГГТ) Сс. 164-167.
15. Cline, J, 2004, Introduction to Carlin-type deposits: SEG Newsletter, N. 59, p. 10-13.
16. Coombs, M.J., Kotlyar, B.B., Ludington, S., and Folger, H., 2002, Multielement geochemical dataset of surficial materials for the northern Great Basin: U.S. Geological Survey Open-file report 02-227 (URL <http://geopubs.wr.usgs.gov/open-file/of02-227/>).
17. Doe B.R., Delevaux M. N. 1972 Source of lead in southeast Missouri galena ore. Economic Geol. v. 67, p. 409 -425.
18. Goldberg, I.S., Abramson, G.J., and Los, V.L. 2003. Depletion and enrichment of primary haloes: their importance in genesis of and exploration for mineral deposits.// Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis, v.3. Pp. 281-293.

19. Goldberg, I.S., Abramson G.Y., Haslam C.O. and Los, V.L. 2008. Depletion and enrichment zones in the Bendigo gold field. A possible source of gold and implications for exploration: *Economic Geology*. v. 102. Pp. 745-753.
20. Goldberg I.S., Abramson G.A., 2016. Evolution of the ore formation in geochemical systems and the practice of exploration of large deposits. // *Geology of the Earth and bowels*. "KazGeo", 2(59)/ Pp 24- 36
21. Groves, D.I., Goldfarb, R.J., Gerbe-Mariam, M., Hagemann, S.G., and Robert, F., 1998. Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal contribution and relationship to other gold deposit types: *Ore Geology Reviews*, v. 13, p. 7-21.
22. Henry, C.D., and Ressel, M.W., 2000. Eocene magmatism – the smoking gun for Carlin-Type gold deposits: *Geology and Ore Deposits 2000: The Great Basin and Beyond: Geological Society of Nevada Symposium, Reno, May 15-18, 2000, Proceedings*, pp. 365-388.
23. Ilchik, R.P., and Barton, M.D., 1997, An amagmatic origin of Carlin-type gold deposits: *Economic Geology*, v. 92, pp. 269-288.
24. Leach D.L. and Rowan E.L. 1986. Genetic link between Ouachita foldbelt tectonics and the Mississippi Valley-Type lead-zinc deposits of the Ozarks: *Geology*, v.14 p. 931- 935.
25. Lundington S., Plumlee G.S. 2009. Climax-Type Porphyry molybdenum Deposits //Open-File Report, 2009-1215. 16 p.
26. Johnston, M.K., and Ressel, M.W., 2004, Carlin-type and distal-disseminated Au-Ag deposits: Related distal expressions of Eocene intrusive centers in north-central Nevada: *Society of Economic Geologist, Newsletter* 59,p. 225–234.
27. King P.B. 1976. Precambrian geology of the Unaitet States: a disscussion to the accompany the Geological map of the Unaitet States; Washington, U.S., Gof. Print. Off., Geological Survey Professional Paper 902, , 86 pp.
28. Motooka, J., 1996. Organometallic halide extraction for 10 elements by inductively $\geq$ coupled plasma- atomic emission spectrometry: U.S. Geological Survey Open-File Report 96-525, pp.102-108.
29. Muntean, J.L., Cline, J.S., Simon, A.C. and Longo, A., 2011. Magmatic-hydrothermal origin of Nevada's Carlin-type gold deposits: *Nature Geoscience*, v.4, p. 122-127
30. Sillitoe, R.H., and Bonham, H, F., Jr., 1990. Sediment-hosted gold deposits: Distal products of magmatic-hydrothermal systems: *Geology*, v. 18, pp. 157-161.
31. Miller G.A., 2009, Some Potentinal Oil Sal Co-Products Ppiceance Basin, Colorado/ Oil Shale Symposium, Colorado. Pp.1-4.
32. Popov M.A., et al. 2001. Basin-Centered gas systems of the U.S.. Open-File Report 01-135, version 1.0.
33. Smith M., 2006, History of the National Uranium Resource Evaluation Hydrogeochemical and Stream Sediment Reconnaissance Program: U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Open – File Report 97-492: NURE HSSR Data project History, pp. 1-5.
34. Smith D.B., Cannon W.F., Woodroff L.G. 2014. Geochemical and Mineralogical Maps for soil of the Conterminous United States, Open-File Report USGS, 2014-1082. 2014, 386 p.



Дергачев Александр Лукич – доктор геол.-мин. наук, профессор геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, зам. заведующего кафедрой геологии и геохимии полезных ископаемых, заместитель декана геологического факультета. Окончил геологический факультет МГУ (1974) и аспирантуру кафедры геологии, геохимии и экономики полезных ископаемых (1977). Является специалистом в области прогнозирования, поисков и разведки месторождений полезных ископаемых.

Область научных интересов: методы прогнозирования и поисков вулканогенных колчеданных месторождений; структурные исследования рудных месторождений; методы геолого-экономической оценки месторождений полезных ископаемых, экономика минерального сырья. По этой тематике опубликовано свыше 140 работ, в том числе 3 учебных пособия и 6 учебников.

Читаемые в МГУ курсы: "Поиски полезных ископаемых", "Экономическая оценка минеральных месторождений" (создан впервые), "Экономика минерального сырья", "Структуры рудных полей и месторождений", "Способы добычи и технологии переработки минерального сырья" (создан впервые для классических университетов), "Минерально-сырьевая база России" (создан впервые).

Лауреат премии Московского университета имени М.В. Ломоносова за педагогическую деятельность (2008). Награжден памятной медалью «В.И.Смирнов. 100 лет».

А.Л. Дергачев, В.И Старостин **МИРОВОЙ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ КОМПЛЕКС: НОВЫЕ** **ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ В XXI ВЕКЕ**

Введение. На протяжении тысячелетий экономическое и социальное развитие любого общества было тесно связано с поиском и добычей материалов, необходимых для улучшения условий жизни людей, создания всего необходимого для существования современной цивилизации от гигантских зданий и сооружений до предметов быта. Рост мировой экономики всегда сопровождался расширением спектра и ростом потребления материалов, получавшихся из разных источников. Исторически важнейшими из них являются сельское хозяйство, охота, рыбная ловля и заготовка древесины, которые обеспечивают человечество биоматериалами. Однако большая и непрерывно возрастающая часть всех необходимых материалов получается из невозобновляемого источника – земных недр – в виде неметаллических полезных ископаемых (индустриальных минералов, горно-химического сырья и стройматериалов), руд металлов и горючих полезных ископаемых. Между тем с середины 1990-х гг. в среде экспертов в области экономики формируется представление об утрате минеральными ресурсами их прежнего значения для экономического развития общества. Поскольку это мнение влияет на выработку стратегии развития минерально-сырьевой базы и в более общем плане – минерально-сырьевого комплекса, являющегося важной составной частью практически любой национальной экономики, оно является далеко не безобидным в период разработки долгосрочных программ экономического развития той или иной страны.

В такой ситуации полезным представляется анализ сложившегося в последние десятилетия реального положения в области потребления и производства минерального сырья, его роли в развитии как национальных экономик, так и мировой экономики в целом, а также некоторых тенденций в развитии мирового минерально-сырьевого комплекса, которые, с точки зрения специалистов-геологов, должны быть учтены в планах развития российской экономики.

Источники данных. В дальнейшем анализе использованы публикуемые ООН общедоступные данные о численности населения Земли¹, а также база данных *UN Comtrade Database*² по международной торговле, в том числе и разнообразными видами минерального сырья и его производных (экспорте и импорте различными странами). Фактические данные о мировом ВВП, его распределении по странам мира и структуре ВВП разных стран в 1980–2015 гг. заимствованы из материалов Всемирного Банка^{3,4}, а сведения о размерах ВВП на душу населения – из данных Международного Валютного Фонда⁵ (*IMF, World Economic Outlook Database*). Для анализа изменений положения минерально-сырьевого комплекса в экономике США и Китая, а также изменений в структуре ВВП и внешнеторговом балансе этих стран привлекались данные, публикуемые правительственными агентствами: американским *Bureau of Economic Analysis*⁶ (BEA), китайским *National Bureau of Statistics of China*⁷, а также Российским статистическим ежегодником⁸. Сведения о запасах нескольких десятков видов минерального сырья в странах мира почерпнуты из материалов, публикуемых Геологической службой США (USGS)⁹, а о масштабах их рудничной добычи – из тех же материалов, а также ежегодников Геологической службы Великобритании¹⁰ (*World Mineral Production*), Международного оргкомитета Всемирного Горного Конгресса¹¹ (*World Mining Congress – WMC*), а также Государственных Докладов «О состоянии и использовании минерально-сырьевой базы Российской Федерации», публикуемых Министерством природных ресурсов и экологии РФ¹². Какие-либо статистические данные о добыче и потреблении материалов вообще и минеральных материалов в частности по странам мира, либо в мире в целом не публикуются. Анализ динамики производства и потребления материалов (в том числе металлических и неметаллических полезных ископаемых, биоматериалов, энергоносителей) в мире в целом и в отдельных странах стал возможным благодаря уникальной базе данных Венского университета экономики и бизнеса¹³ (*Global Material Flows Database*). В этой базе данных содержатся сведения о добыче и потреблении именно добытого из недр минерального сырья, а не его производной – товарной продукции, т.е. применительно к рудным полезным ископаемым – о добытой и использованной руде, а не о концентрате, получающемся при ее обогащении и используемом в металлургии, и тем более не о производной добытых руд еще более высокого порядка – металле, потребляемом в строительстве, машиностроении и др. отраслях. Это, однако, не умаляет значения этой базы данных, равно как и то обстоятельство, что сведения о добыче и производстве четырех перечисленных видов материалов в ней приводятся для периода с 1980 по 2013 г., а о производстве материалов – с 1980 по 2010 г.

Динамика производства и потребления минерального сырья. Суммарная доля минерального сырья (металлического, неметаллического и энергоносителей) в глобальном производстве материалов только за 12 лет с 2001 по 2013 г. возросла с 66 до 73% за счет сокращения доли биологических материалов даже не смотря на переход ряда

¹ <https://esa.un.org/unpd/wpp/Download/Standard/Population>

² <https://comtrade.un.org/data>

³ <http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD>

⁴ <http://knoema.ru/mhrzolg/gdp-by-country-statistics-from-the-world-bank-1960-2015>

⁵ <http://www.imf.org/en/Data#global>

⁶ https://www.bea.gov/industry/gdpbyind_data.htm

⁷ <http://www.stats.gov.cn/english/statisticaldata/AnnualData>

⁸ http://www.gks.ru/free_doc/doc_2016/year/year16.pdf

⁹ <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity>

¹⁰ <http://www.bgs.ac.uk/mineralsUK/statistics/worldStatistics.html>

¹¹ <http://www.wmc.org.pl/?q=node/49>

¹² <http://www.mnr.gov.ru/regulatory/list.php?part=1376>

¹³ <https://www.materialflows.net>

стран к промышленному производству биотоплива. При этом доля твердых полезных ископаемых (рудных и неметаллических) в суммарной добыче всех материалов в 2013 г. составила 56%.

С 1980 по 2013 г. добыча и потребление глобальной экономикой материалов перечисленных четырех типов возросли в 2,3 раза, достигнув к 2013 г. примерно 84,4 млрд т, тогда как мировой ВВП увеличился в 2,6, а население планеты – в 1,6 раза (рис. 1).

Производство материалов в этот период увеличивалось в среднем на 2,6% в год. В 1980–2002 гг. оно возрастало практически теми же темпами (1,8% в год), что и численность населения планеты. Однако к концу периода, в 2002–2013 гг., произошло ускорение до 4,1% в год. Основными факторами роста явились добыча неметаллического сырья (в том числе стройматериалов) – в среднем 3,8% (6,0% в 2002–2013 гг.) и руд металлов – в среднем 3,2% (5,0% в 2002–2013 гг.). В то же время производство биологических материалов возрастало в среднем только на 1,5%, а горючих полезных ископаемых – на 1,8% в год (в 2002–2013 гг. 2,1% и 3,2% соответственно).

С 2002 г. производство материалов по темпам роста обогнало и численность населения Земли (по данным ООН, в 2002–2015 гг. возрастала на 1,2% в год), и мировой ВВП (по данным Всемирного Банка, увеличивался на 2,9% в год в долл. 2010 г.). В результате среднее потребление материалов на душу населения в мире с 1980 по 2013 г. возросло почти на 44% с 8,2 до 11,8 т/чел. в год. Если в 1980–2002 гг. оно колебалось в зависимости от фазы экономического цикла от 8,0 до 8,4 т/чел. в год и в целом возросло за 22 года всего на 5%, то в следующие 11 лет (2002–2013 гг.) этот показатель увеличился на 38,5%. Другим следствием стало то, что медленное снижение материалоемкости мирового ВВП в 1980–2002 г. с 1,315 до 1,045 кг/долл. сменилось его ростом, и к 2013 г. этот показатель уже достиг 1,156 кг/долл., т.е. уровня 1990 г. (рис. 2). Если мировой ВВП на душу населения, выраженный в постоянных деньгах (долл. 2010 г.), в 1980–2002 г. возрос примерно на 2000 долл. практически без существенного увеличения потребления материалов на душу населения, то после этого такой же по абсолютной величине прирост к 2013 г. был получен благодаря резкому увеличению потребления материалов (рис. 3). Таким образом, после 2002 г. мировая экономика вступила в новый этап насыщения материалами, и повышение среднего уровня жизни людей в этот период достигается в значительной мере благодаря увеличению потребления материальных благ, а значит, в конечном счете – материалов (прежде всего минеральных) на душу населения.

Рост потребления и добычи материалов был отчетливо дифференцирован как по видам сырья, так и по регионам и странам. В отношении как металлов, так и индустриальных минералов, стройматериалов и горно-химического сырья в 2002–2015 гг. справедливо говорить об устойчивом росте производства, опережавшем прирост населения Земли (рис. 4). Это означает, что в этот период происходило увеличение потребления на душу населения в мире большинства видов минерального сырья. Причинами редких исключений в конкретных случаях являются лишь принудительный характер производства (например, извлечение серы при переработке нефти и очистке природного газа), ограничение использования некоторых видов сырья как экологически опасных продуктов (асбест), сокращение использования в важнейших традиционных областях применения (например, каолина и талька в качестве наполнителей бумаги), появление более дешевых заменителей при отсутствии новых перспективных областей использования или какие-то особые причины.

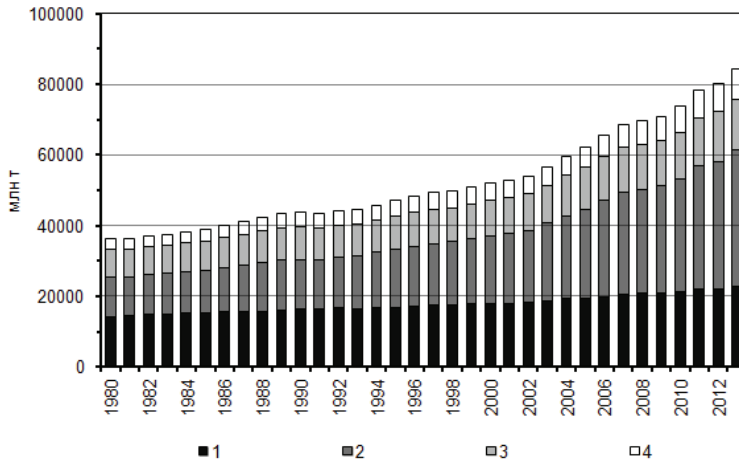


Рис. 1. Динамика мирового производства в 1980–2013 гг. различных материалов: биологических (1), промышленных минералов и стройматериалов (2), горючих полезных ископаемых (3), руд металлов (4).

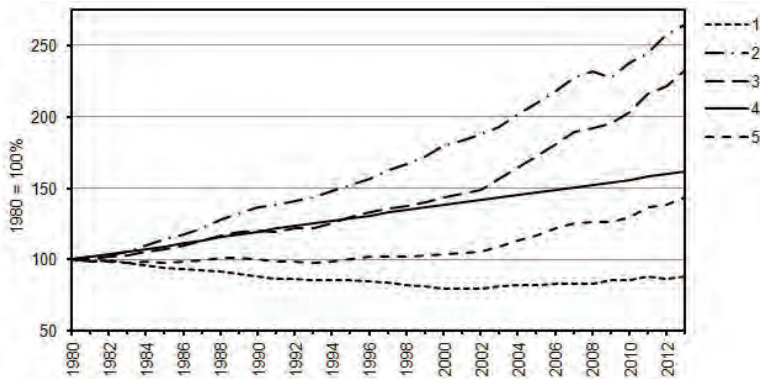


Рис. 2. Графики роста населения Земли (4) и мирового ВВП (2), производства материалов всех видов (3) и их потребления на душу населения (5) и на единицу ВВП (1) в 1980–2013 гг.

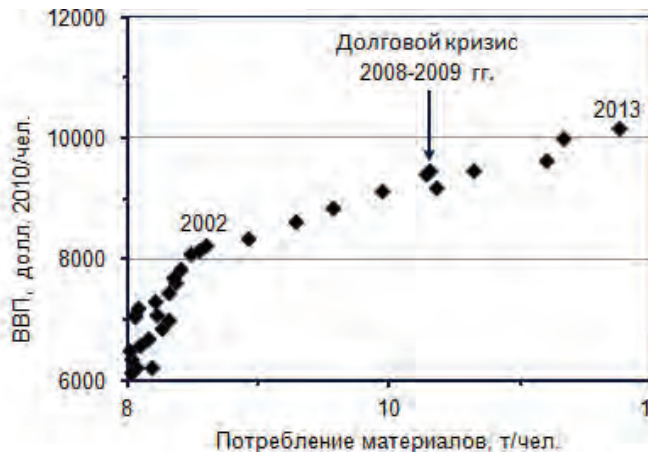


Рис. 3. Рост мирового ВВП и потребление материалов на душу населения в 1980–2013 гг.

В 2002–2015 гг. темпы расширения производства многих видов минерального сырья опережали и средний темп роста мирового ВВП. Наиболее быстрый рост рудничного производства и потребления минерального сырья, в 1,4 – 2,2 раза превышавший темп роста ВВП (в долл. 2010 г.), в этот период был характерен для извести, гипса, перлитов, цемента, магнезита, боратов, полевого шпата, фосфатных пород, а также железных руд, Cr, Mn, Mo, Zr, Pb, Ni. Наиболее распространенные и дешевые виды строительных материалов (песок, гравий, щебень) определенно демонстрируют аналогичную динамику, хотя статистические данные об их добыче и потреблении в мире или даже в конкретных странах отсутствуют. Именно в отношении перечисленных видов материалов, а также бентонитовых глин, калийных солей, флюорита, йода и цинка справедливо говорить о возрастании материалоемкости мирового ВВП в последние 35 лет.

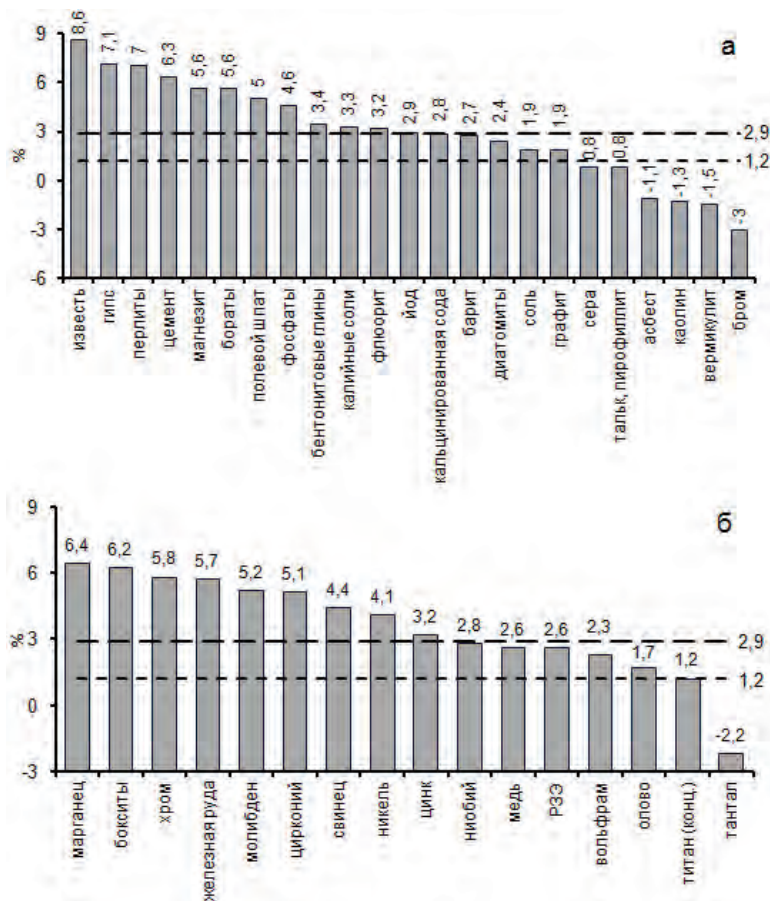


Рис. 4. Темпы прироста рудничной добычи различных видов неметаллического (а) и рудного сырья (б) в 2002–2015 гг. Горизонтальными пунктирными линиями показаны средние темпы роста населения и мирового ВВП (соответственно 1,2% и 2,9% в год).

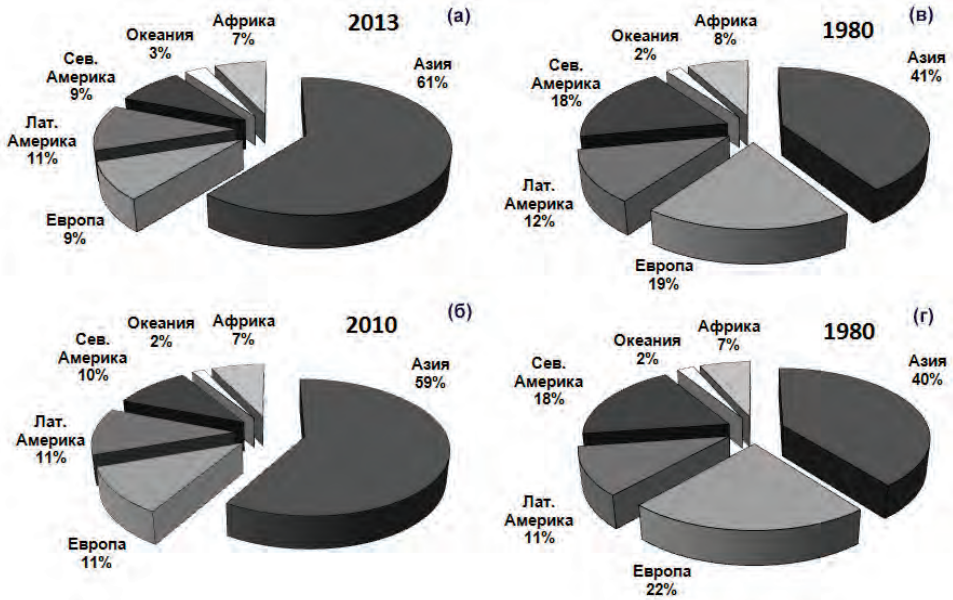


Рис. 5. Изменение доли различных регионов мира в мировом производстве (а, в) и потреблении материалов всех видов (б, г).

В 1980–2013 гг. наиболее высокие темпы роста добычи неметаллических полезных ископаемых, включая стройматериалы, демонстрировал Азиатский регион (6% в год), который, кроме того, лишь немного уступал Австралии и Океании по темпам роста добычи руд металлов (4,4% против 4,9% в год). Для сравнения, в тот же период соответствующие показатели составили для Северной Америки 0,3 и 0,8%, а для ЕС (27) только 0,2 и –1,0% в год.

В результате при глобальном росте потребления всех материалов с 1980 по 2010 г. доля Азии возросла с 40 до 59%, в то время как вклады Африки, Океании и Латинской Америки остались на прежнем уровне, доля Сев. Америки снизилась с 18 до 11%, а Европы – с 22 до 11%. Сходная динамика устанавливается и в отношении производства материалов: в 1980–2013 гг. доли Европы и Сев. Америки сократились примерно в 2 раза, доли Океании, Лат. Америки и Африки существенно не изменились, тогда как вклад Азии возрос в 1,5 раза (рис. 5).

Важно отметить, что в 1980–2015 гг. наиболее высокими темпами экономического роста отличался именно Азиатский регион, где ВВП (в долл. 2010 г.) увеличивался в среднем на 4,5% в год по сравнению с 2,7% в Сев. Америке и 1,9% в странах ЕС. Таким образом, между темпами роста производства минерального сырья и ВВП определенно существует достаточно четкая прямая корреляция. Еще более очевидной она становится при анализе данных по конкретным странам.

Среди 26 стран, лидировавших в 2015 г. по размерам ВВП (в долл. 2010 г.), по данным Всемирного Банка, наиболее высокие средние темпы роста валового внутреннего продукта (%) в 1980–2015 г. демонстрировали Китай (9,8), Индия и Ю. Корея (по 6,3), Индонезия (5,3), Турция (4,3). Те же самые страны отличались наивысшими средними темпами роста потребления всех материалов в 1980–2013 гг. (% в год): Китай – 7,3, Ю. Корея – 4,3, Индонезия – 3,8, Индия – 3,7, Турция – 3,1 (рис. 6а). Растущие потребности экономик этих стран удовлетворялись за счет увеличения внутреннего производства материалов, прежде всего неметаллических и рудных полезных ископаемых. Поэтому перечисленные страны практически в том же порядке лидировали в мире и по темпам роста производства материалов (% в год): Китай – 11,1,

Индия – 6,3, Индонезия – 5,6, Турция – 4,3 (рис. 6б). Важное и показательное исключение составляла лишь Ю. Корея (3,8), которая в этом отношении уступала, кроме перечисленных четырех стран, еще и Сауд. Аравии (5,1), Нигерии и Австралии (по 4,4), поскольку в силу ограниченности территории и относительной скудости природных ресурсов эта страна не могла обеспечить высокие темпы роста добычи материалов за счет собственных источников и занимала высокое (второе после Китая) место по темпам роста потребления всех материалов лишь за счет расширения их импорта.

Причина существования связи между темпами роста ВВП и производства материалов вообще и полезных ископаемых в частности заключается не столько в непосредственном вкладе горнодобывающей отрасли в валовой внутренний продукт (в Китае, например, добыча минерального сырья в 2014 г. вносила в ВВП около 3,6%, а в США в 2015 г. – лишь 1,8%), сколько в создании благоприятных условий для развития всех остальных отраслей экономики через снабжение их сырьем и обеспечение строительства необходимой для них инфраструктуры.

В 1980–2013 гг. в целом ряде из 26 рассмотренных стран было зафиксировано сокращение добычи (отрицательные темпы роста) твердых полезных ископаемых. Наиболее значительным оно было (% в год) в Италии (–2,1), Японии (–1,3), Великобритании (–0,9), Франции (–0,8), Германии (–0,6), спад добычи твердых полезных ископаемых имел место Испании и даже ЮАР (по –0,1), известных своими традициями в горной промышленности. В 1980–2015 гг. самые низкие средние темпы роста (% в год) ВВП (в долл. 2010 г.) демонстрировала именно Италия (1,1), а во всех остальных перечисленных странах средние темпы экономического роста колебались от 1,7–1,8 (Германия, Франция) до 2,0–2,3% (Япония, ЮАР, Испания, Великобритания).

В тот же период крайне незначительный прирост производства твердых полезных ископаемых (%) был получен в Швеции и Бельгии (по 0,9), Нидерландах (0,6), Швейцарии и США (по 0,5), Канаде (0,1). В перечисленных странах средние темпы экономического роста находились в интервале 1,7–2,4% и лишь в США достигли 2,7%. Однако ни в одной из стран с низкими темпами роста добычи и потребления твердых полезных ископаемых темпы экономического роста не превысили их среднемирового значения (2,9% в год).

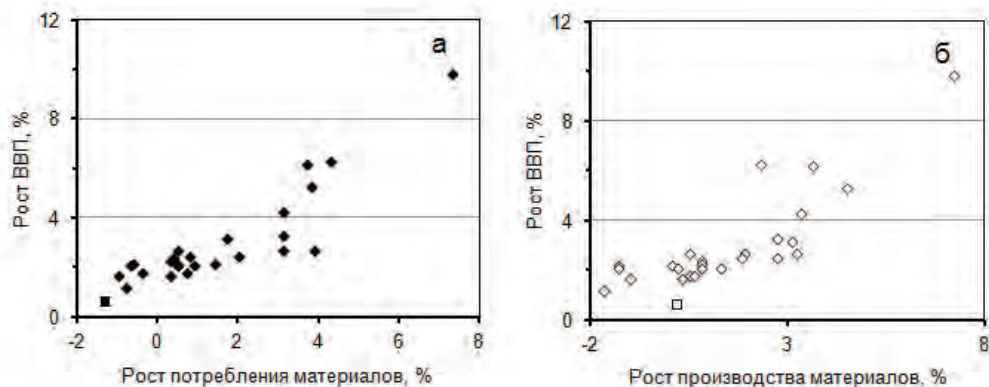


Рис. 6. Соотношения темпов экономического роста 26 стран, лидирующих по размерам ВВП, и средних темпов роста в них потребления (а) и производства (б) всех материалов в 1980–2013 гг. Квадратными маркерами показано положение России на диаграммах.

Россия по среднему темпу роста добычи твердых полезных ископаемых в 1990–2013 гг. (0,6% в год) находилась на уровне Швейцарии и Нидерландов, а средний показатель экономического роста составил беспрецедентно низкие для крупнейших экономик мира 0,4% в год. Темпы роста минерально-сырьевого комплекса России и расширения его основы – минерально-сырьевой базы страны не вполне отвечают как общемировым тенденциям, так и тенденциям, демонстрируемым отдельными странами, рассматриваемыми в нашей стране как ориентиры в отношении темпов экономического роста. Уже в настоящее время в России ощущается дефицит некоторых видов сырья. Так, за счет собственной добычи удовлетворяется только 60% потребностей страны в уране; предприятия по производству титановой губки зависят от импорта сырья почти на 100%; практически прекращена собственная добыча марганцевых руд; не позволяет удовлетворить потребности отечественной ферросплавной отрасли уровень производства хромитов. Подобные примеры многочисленны.

При переходе экономики к устойчивому и ускоренному росту следует ожидать усугубления ситуации. Между тем для России экономический рост и поддерживаемое им повышение качества жизни граждан является одним из стратегических национальных приоритетов, от полноты реализации которого в определенной степени зависит состояние национальной безопасности в целом. В качестве ближайшего ориентира провозглашается достижение к 2020 г. темпов роста ВВП, превышающих среднемировые (2,6% в 2015 г.). Решение этой задачи уже в ближайшие годы может потребовать достижения темпов роста производства твердых полезных ископаемых на 2,5–5,0% в год и обеспечения соответствующего воспроизводства минерально-сырьевой базы в объемах, необходимых для удовлетворения нужд российской экономики, обеспечения национальной безопасности и укрепления позиций страны на мировых рынках минерального сырья и продуктов его последующих переделов. Замедленное развитие минерально-сырьевого комплекса может привести к необходимости расширенного импорта минерального сырья и (или) его производных и оказать сдерживающее влияние на социально-экономическое развитие страны в целом.

Концентрация производства минерального сырья. Одной из важных тенденций в развитии мирового минерально-сырьевого комплекса является высокая и постоянно растущая степень концентрации производства. В дальнейшем она будет оцениваться по принятым в экономике показателям – индексу концентрации (*CR*) и индексу Херфиндаля – Хиршмана (*HHI*). Первый из них характеризует долю рынка (%), которая приходится на заданное количество (далее на четырех – *CR4*) самых крупных участников рынка и позволяет сравнить суммы долей стран-лидеров и всех остальных стран в ряду производителей минеральной продукции. Второй показатель рассчитывается как сумма квадратов рыночных долей (в процентах) всех стран в общем объеме производства. Он характеризует не долю производства, контролируемую несколькими крупнейшими странами-производителями, а распределение «рыночной власти» между всеми субъектами данного рынка. В соответствии с практикой, существующей в антимонопольном законодательстве США и стран Европы, в дальнейшем производство некоторого вида минерального сырья будет считаться высококонцентрированным, если $70 < CR4 < 100$ и $1800 < HHI < 10000$, умеренно концентрированным, если $45 < CR4 < 70$ и $1000 < HHI < 1800$, и низкоконцентрированным, если $CR4 < 45$ и $HHI < 1000$.

По данным на 2015 г., производство минеральных материалов, как рудных, так и неметаллических, характеризуется исключительно высоким уровнем концентрации. От части это обусловлено экономическими, инфраструктурными или иными факторами, но не в последнюю очередь определяется неравномерностью распределения минеральных ресурсов между странами мира, т.е. в конечном счете существованием минерагенических провинций, а значит естественными, геологическими причинами.

Из 60 проанализированных видов минерального сырья исключительно высокими значениями $CR4$ ($> 90\%$) характеризовались рынки Nb, W, V, Sb, As, Bi, Ga, Ge, Li, Hg, PЗЭ, Re, Te, I, Br, Pd, Pt, Rh, графита, перлитов (рис. 7). Пороговое для высококонцентрированных рынков значение $CR4 = 70\%$, кроме перечисленных видов сырья, превышено также для алмазов (ювелирных и технических), асбеста, бора, диатомитов, флюорита, магнезита, фосфатного сырья, калийных солей, вермикулита, циркона, кальцинированной соды, извести, слюды, а также бокситов, Fe, Cr, Co, Mn, Mo, Ta, Pb, Re, Se, Sn, т.е. суммарно для 44 из 61 проанализированного вида минерального сырья. Умеренные значения показателя ($70 > CR4 > 45$) устанавливаются лишь для Ni, Zn, Cu, Cd, Ti, Ag, барита, бентонитов, полевого шпата, гипса и ангидрита, каолина, соли, серы, талька и пиррофиллита, а низкая степень концентрации свойственна только производству Au, добываемого в разных масштабах в 89 странах мира, в том числе 8–10 странами в примерно сопоставимых количествах.

С учетом значений индекса Херфиндала – Хиршмана к низкоконцентрированным ($HHI \leq 1000$) можно отнести только производство серы, соли, каолина, гипса и ангидрита, а из металлических полезных ископаемых – только Ni и Au; к умеренно концентрированным – производство Zn, Cu, Cd, Ti, Ag, бокситов, а также барита, бентонитов, полевого шпата, калийных солей, талька и пиррофиллита. Очень высокой ($3000 \leq HHI \leq 5000$) является концентрация производства Cr, Co, V, Sb, Bi, Re, также флюорита, магнезита, цемента. Наивысшая в сфере добычи минеральных материалов концентрация производства характерна для Nb, W, As, Ga, Ge, Hg, PЗЭ, Pt, Rh, графита (значения $5000 \leq HHI \leq 8550$).

Эту картину дополняет исключительно неравномерное распределение добычи внутри группы из четырех стран-лидеров по производству большинства видов твердых полезных ископаемых. Страна-лидер мирового рейтинга вносит свыше 92% в мировое производство Nb и Br, 85 – PЗЭ, 83 – Ga, 82 – W, Rh, 77 – Hg, 75 – Pt, 70 – графита, 69 – Ge, 68 – Sb, As и флюорита, 65 – магнезита и извести, 63 – Bi, 61 – I, 60 – Co и свыше 50% – в производство Cr, V, Re, фосфатного сырья и цемента.

Степень концентрации производства твердых полезных ископаемых не остается постоянной. В группе неметаллических полезных ископаемых, например, в период с 1994 по 2015 г. значение $CR4$ снизилось для вермикулита (с 94,1 до 80,5%), талька и пиррофиллита (с 61,4 до 58,3%), серы (с 58,5 до 47,1%), природных промышленных алмазов (с 86,9 до 82,7%), каолина (с 62,8 до 52,3%), т.е. в основном для тех видов неметаллического сырья, добыча и потребление которых в силу тех или иных причин в этот период снижались (для природных промышленных алмазов и вермикулита в среднем на 0,5% в год) или возрастали относительно медленно (для талька и пиррофиллита – в среднем на 0,1%, каолина – на 0,6%, серы – на 1,4%). Для сравнения, степень концентрации (величина $CR4$) возросла для барита, диатомитов, перлитов, фосфатов, калийных солей, соли, но особенно значительно – для извести (с 51,6 до 78,9%) и цемента (с 47,3 до 69,9%), а также полевого шпата – с 55,9 до 64,4% (добыча возрастала в среднем на 8,2% в год), магнезита – с 45,5 до 85,1% (5,2%), флюорита – с 69,8 до 85,8% (3,0%), кальцинированной соды – с 61,3 до 80,8% (2,9%), графита – с 67,8 до 92,1% (2,1%), перлитов – с 83,67 до 90,9% (3,3%), барита – с 62,1 до 64,9% (4,1%), гипса и ангидрита – с 43,8 до 52,0% (2,5%).

В исключительных случаях степень концентрации возрастает, например, из-за прекращения добычи в крупных странах-производителях. Так, величина $CR4$ для асбеста в 1994–2014 гг. возросла с 77,7 до 90,4% в значительной степени из-за прекращения добычи хризотил-асбеста в Канаде.

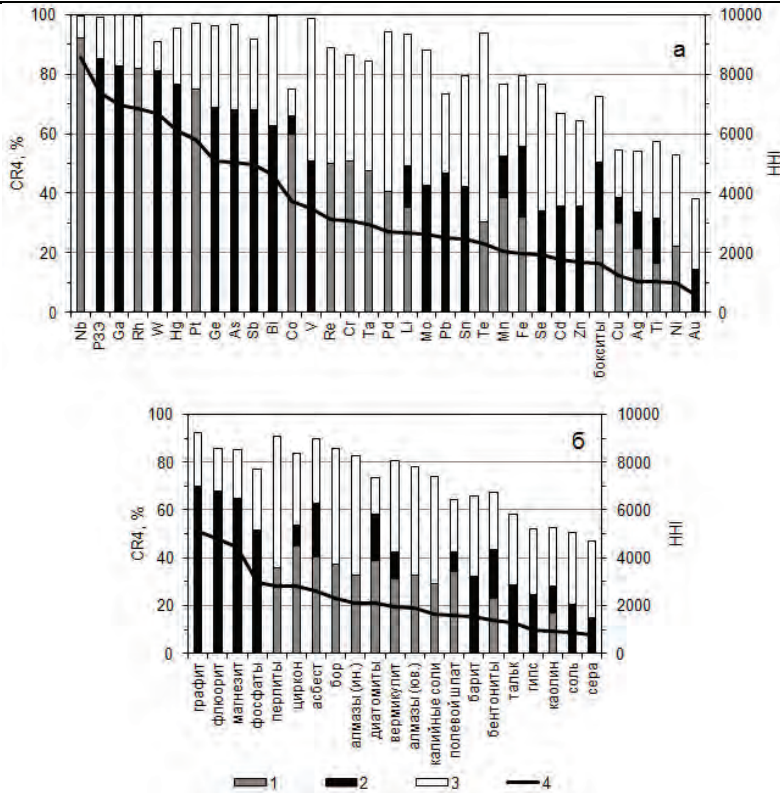


Рис. 7. Концентрация мировой добычи металлических (а) и неметаллических (б) полезных ископаемых. В виде кривой представлены значения индекса Херфиндаля-Хиршмана (HHI); вертикальными колонками показаны значения показателя концентрации производства в четырех основных странах-производителях сырья (CR4). Условные обозначения: 1 – 3 – вклад в показатель концентрации: 1 – страны-лидера (кроме Китая), 2 – Китай, 3 – остальных стран; 4 – график HHI.

В то же время степень концентрации производства повышается, главным образом, для тех видов сырья, спрос на которые демонстрирует достаточно быстрый и устойчивый рост. В таких случаях степень концентрации добычи возрастает за счет одной или очень немногих стран, которые оказываются в готовности и в состоянии воспользоваться преимуществами растущего спроса на свою продукцию. В этом смысле не последнюю роль играет такой фактор, как наличие соответствующих достаточно крупных ресурсов и способность быстро нарастить промышленные запасы за их счет.

Сохранение нынешнего положения с концентрацией производства твердых полезных ископаемых, сложившегося в эпоху глобализации, означает дополнительные риски для стран, не располагающих диверсифицированной по видам сырья собственной минерально-сырьевой базой и (или) мощным добывающим комплексом, как в отношении цен на минеральное сырье, так и в отношении непрерывности его поставок. Эти риски осознаются в большинстве промышленно развитых стран. Обеспеченность их экономик разнообразным минеральным сырьем и особенно его дефицитными или особо важными для этих стран (критическими, стратегическими) видами постоянно находится в центре внимания соответствующих правительств. Это же касается и степени зависимости от поставок таких минеральных материалов из тех или иных стран, особенно из стран с политически неустойчивыми режимами.

Модели развития минерально-сырьевого комплекса. Формирование стратегии развития минерально-сырьевого комплекса России требует четкого представления о том, какие виды минерального сырья, в каком количестве, какого качества и где именно будут востребованы внутренним рынком, т.е. в конечном счете требуется обоснованный выбор модели экономического развития страны. При этом полезным может оказаться анализ внешних тенденций и опыт стран, значительно раньше оказавшихся в ситуации подобного выбора.

Крупнейшие экономики мира – китайская и американская – в определенном смысле являются антиподами в отношении добычи и потребления материалов вообще и минерального сырья в частности. Различия в динамике добычи и потребления минерального сырья между Китаем и США прямо проистекают из различий в материалоемкости ВВП этих стран, а в конечном счете – в его структуре.

Вообще снижение материалоемкости ВВП свойственно практически всем развитым экономикам мира. Одним из многих преимуществ, которые оно дает, является сбережение минеральных ресурсов, и значит, снижение нагрузки на недра, ресурсы которых постепенно иссякают и практически не возобновляются. Уменьшение потребления материалов на 1 ед. ВВП может достигаться, например, за счет разработки и использования новых технологий, сокращения потерь при металлообработке и т.д., и эта возможность в той или иной мере реализуется практически во всех странах мира. Однако той же цели можно добиваться путем отказа от производства товаров в пользу производства услуг, не требующего особых затрат материалов, т.е. переходом от экономики товаров к экономике услуг.

Китай лидирует в мире по общему объему производства товаров, и значит, по валовой добавленной стоимости, создаваемой в отраслях, производящих товары. Хотя доля разнообразных услуг населению в Китае, как и большинстве стран мира, постепенно возрастает, согласно *National Bureau of Statistics of China*, в 2015 г. ведущим сектором китайской экономики оставалась обрабатывающая промышленность (30,7%); в сельском хозяйстве, горнодобывающей и обрабатывающей отраслях создавалось суммарно 43,5%, а в целом в отраслях, производящих продукцию (с учетом вклада еще и строительной отрасли и производства и распределения электроэнергии, газа и воды) – 52,6% ВВП, тогда как суммарный вклад разнообразных услуг составил 47,8% (в том числе розничной и оптовой торговли – 9,7%) (рис. 8б). Экономика товаров требует больших затрат минерального сырья. Хотя Китай подчиняется практически повсеместно проявляющейся тенденции уменьшения материалоемкости ВВП и этот показатель в 1980–2010 гг. снизился в 1,8 раза, материалоемкость китайского ВВП в 2010 г. оставалась одной из самых высоких среди крупнейших экономик мира (5,7856 кг/долл.). Высокую материалоемкость ВВП демонстрировали и другие страны с быстрорастущими экономиками, в том числе Индия и Индонезия (соответственно 4,0782 и 4,8236 кг/долл.).

В отличие от этого в США с начала 1990-х гг. обрабатывающая промышленность, где используются разнообразные материалы и производятся товары, перестала быть лидирующей отраслью экономики. По данным *Bureau of Economic Analysis*, суммарный вклад в ВВП отраслей, производящих продукцию, т.е. реальные материальные ценности (сельское хозяйство, добыча полезных ископаемых, обрабатывающая промышленность, производство и распределение электроэнергии, воды и газа, строительство) в 2015 г. составил в США лишь 20,5% (рис. 8а), т.е. в относительном выражении был в 2,5 раза ниже, чем в Китае. С 2008 г. на первые позиции постепенно переместились отрасли, связанные с недвижимостью, арендой и лизингом (в 2015 г. вносили в ВВП 13,1%), профессиональные и деловые услуги (12,2%), оптовая и розничная торговля (12%). Экономика услуг не требует для своего развития особых затрат материалов, в том числе и минерального сырья. Поэтому вклад добычи твердых полезных ископаемых в ВВП страны сократился в 1956–2015 гг. с 1,0 до 0,3%. Сократилась и доля в ВВП производства

материалоемкой промышленной продукции (первичных металлов и готовых изделий из них, продукции машиностроения, товаров на основе неметаллического сырья и т.д.; рис. 9). Потребление материалов на 1 долл. ВВП в США уменьшилось в 2 раза с 0,9537 в 1980 г. до 0,4793 кг/долл. в 2010 г., и США наряду с Брунеем, Бермудскими и Багамскими островами, а также Японией и целым рядом стран Европы с аналогичной моделью развития (Великобританией, Германией, Францией, Италией, Бельгией, Данией, Норвегией, Швейцарией, Швецией), вошли в число стран мира с наименьшей материалоемкостью ВВП.

Как видим, рост китайской экономики в значительно большей степени, чем американской, зависит от отраслей, потребляющих материалы для производства товаров, а значит и от состояния минерально-сырьевого комплекса и минерально-сырьевой базы, в частности. Именно с этим связано особое положение минерально-сырьевого комплекса в экономике Китая. В 1995–2015 г. запасы многих видов полезных ископаемых в этой стране стремительно возрастали. Так, запасы молибдена увеличились в 17 раз, фосфатов – в 15, висмута – в 12, графита – в 11, меди – в 9, железной руды – в 6, магнетита – 2,3 раза и т.д. Рост запасов явился важнейшим условием увеличения производства минерального сырья.

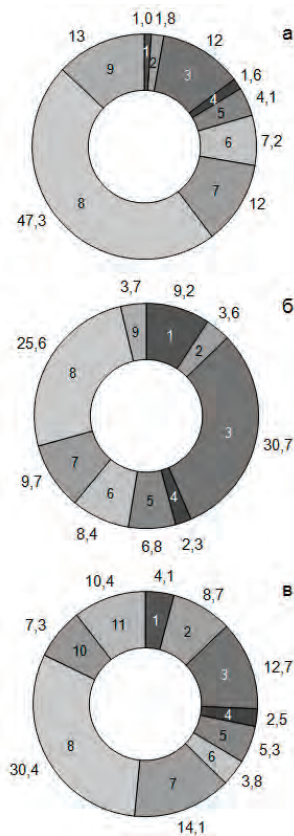


Рис. 8. Структура ВВП США (а), Китая (б) и России (в) в 2015 г. (%). Цифрами обозначены секторы: 1 – сельское и лесное хозяйство, охота, рыболовство; 2 – добыча полезных ископаемых; 3 – обрабатывающие производства; 4 – производство и распределение электроэнергии, газа и воды; 5 – строительство; 6 – финансовая деятельность и страховые услуги; 7 – оптовая и розничная торговля; 8 – прочие услуги; 9 – правительство и управление; 10 – государственное управление и обеспечение военной безопасности; 11 – налоги и субсидии на продукты.

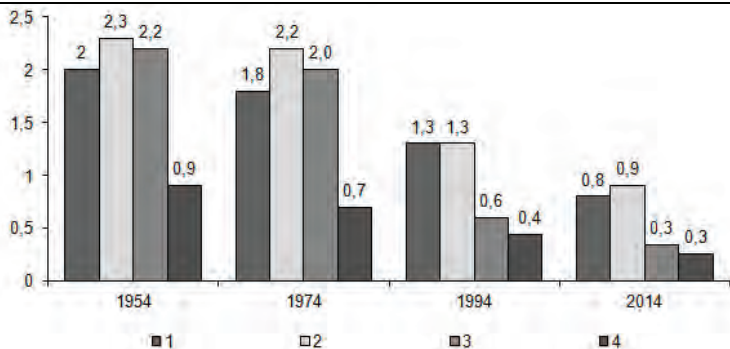


Рис. 9. Доля производства различных видов продукции в ВВП США в 1954–2014 гг. (%). Условные обозначения: 1 – готовые изделия из металлов, 2 – машины, 3 – первичные металлы, 4 – неметаллическая минеральная продукция.

В результате в Китае получение материалов в 1980–2013 гг. возросло на 896%. После 2002 г. оно увеличивалось ежегодно на 1200–2200 млн т и в 2013 г. превысило 34% их мирового производства, составив 28904 млн т (рис. 10б). Из этого количества 74% составляли твердые (рудные и неметаллические) полезные ископаемые. В 1980–2013 гг. беспрецедентно высокими были средние темпы роста добычи в этой стране неметаллического сырья (11,3% в год) и руд металлов (8,9%), извлечение которых за этот период возросло более чем на 3420% и 1570% соответственно (для сравнения производство биологических материалов увеличивалось в среднем на 2,5%, а горючих полезных ископаемых – на 5,3% в год). В 2013 г. китайские месторождения обеспечили 45,5% мировой добычи твердых полезных ископаемых, в том числе 50,6% неметаллического и 22,5% рудного сырья (для сравнения доля Китая в мировом производстве горючих полезных ископаемых составляла 27,6%, а в добыче биоматериалов – 15,1%).

В силу геологических причин Китай обладает крайне незначительными запасами хромитов, тантало-ниобатов, Со и Ni, боратов, и его доля в мировой добыче этих видов сырья не превышает 3–6%. По тем же причинам в стране практически отсутствуют запасы и добыча МПГ, Те, алмазов, перлитов. Однако Китай занимает первое место в мире по добыче (доля в мировой добыче, %) Au (15) и Se (34), серы (15), соли (21) и уверенно лидирует, в несколько раз превосходя страны, занимающие второе место в мировом рейтинге, по рудничной добыче гипса и ангидрита (24,4), талька (28,5), барита (32,2), Zn (35,7), Cd (35,9), Sn (42,1), Pb (46,6) и кальцинированной соды (47,3), V (50,7), фосфатов (51,8), цемента (59,6), Bi (62,8), магнезита (65,0), извести (65,7), As (68,1), Sb (68,2) и флюорита (68,3), Ge (68,8), графита (69,8), Hg (76,8), W (81,4), Ga (82,9), PЗЭ (85,4). Вторые места в мировом рейтинге с долей свыше 10% Китай занимает по рудничному производству каолиновых глин, калийных солей и вермикулита (по 11,3), Ag (12,3), Li (13,9), Mn (13,7), Ti (15,2), диатомитов (19,5), бентонитовых глин (20,6), бокситов и асбеста (по 22,4).

Примечательно, что именно в последние 20 лет произошел резкий рост вклада Китая в мировую добычу многих из перечисленных видов минерального сырья. Так, его доля в мировом производстве флюорита возросла в 1990–2015 гг. в 1,2, соли – в 1,3, цемента – в 1,9, графита – в 2,0, брома – в 2,3, кальцинированной соды – в 2,5, фосфатного сырья в 2,8, гипса и ангидрита – в 3,4, каолина – в 3,6, извести – в 4,0, магнезита – в 5,7, калийных солей – в 35,7 раза. Таким образом, не будет преувеличением сказать, что утверждение Китая в качестве мировой мастерской стало возможным благодаря превращению его в мировой рудник. Развитый минерально-сырьевой комплекс справедливо рассматривается в Китае как важное конкурентное преимущество и один из

драйверов китайской экономики, способный не только поддержать рост высокотехнологичных отраслей доходами от добычи минерального сырья, но и обеспечить эти отрасли необходимыми полезными ископаемыми.

Напротив, суммарное извлечение всех материалов в США в 1980–2013 гг. увеличилось только на 17%, достигнув лишь 6469 млн т (рис. 10а). Еще в 1980 г. соотношение между производством всех материалов в США и Китае составляло примерно 1,9:1 в пользу США, однако к 2013 г. оно изменилось до 0,12:1 в пользу Китая. При этом добыча неметаллического сырья в США была в 8,8 раза, а рудного – в 3,3 раза меньше, чем в Китае. Это явилось результатом очень низких темпов роста в США как производства материалов в целом (0,5% в год), так и отдельных их видов (биоматериалов – 0,3%, горючих и неметаллических полезных ископаемых – по 0,4%, руд металлов – 1,0% в год). По этой причине за 33 года производство индустриальных минералов, горно-химического сырья и стройматериалов в США увеличилась только на 13%, а руд металлов – на 38%.

Важной особенностью китайской экономики являлся сравнительно устойчивый характер роста добычи минерального сырья. В Китае, сохранившем планирование экономического развития и управляемость экономики, в 1980–2013 г. сокращение добычи неметаллических полезных ископаемых происходило только в 1989 и 1990 гг. Спадом в добыче руд металлов отмечена каждая из крупных рецессий в мировой экономике, в том числе имевшие место в 1981, 1991, 2001 гг.; снижение добычи произошло также в 1996 г. и во время азиатского финансового кризиса в 1998–1999 гг. Однако ни в одном из упомянутых случаев спад производства минерального сырья не превысил 7,1% (в среднем составил 2,7%) и не продолжался более двух лет подряд. В США в тот же период были зафиксированы 10 лет, когда происходило падение добычи неметаллического сырья (1981–1982, 1989–1991, 2002 и 2007–2010 гг.), а также 12 лет, когда сокращалась добыча руд металлов (1982–1983, 1995, 1999–2005, 2007, 2009 гг.). При этом падение производства твердых полезных ископаемых могло продолжаться по 3–7 лет подряд и в результате многолетнего спада сокращение производства неметаллических полезных ископаемых достигало 20–35%, а руд металлов – 29–33%.

Примечательно, что потребление материалов в обеих странах возрастало быстрее их производства, и разница между внутренним производством и использованием материалов покрывалась за счет их импорта. Хотя уже в 1980 г. Китай использовал в экономике материалов больше, чем производил, заметного масштаба нетто-импорт достиг только в начале 2000-х гг., однако и в 2010 г. он составил 1200 млн т, т.е. всего около 5% внутреннего потребления. На рост внутреннего потребления минерального сырья Китай отвечает расширением его производства на территории страны, ограничением экспорта сырья (например, флюоритовых концентратов, необработанного графита и т.д.) и созданием стимулов для переработки его в продукты с более высокой добавленной стоимостью на своей территории, активным участием в разработке полезных ископаемых во многих странах и на всех континентах.

В США суммарное потребление всех материалов в 1980–2010 гг. увеличилось на 15%, тогда как добыча – лишь на 11,7%. В результате падения добычи минерального сырья, опережающего сокращение его использования, США во все возрастающей степени вынуждены полагаться на импорт материалов. Нетто-импорт уже в середине 1980-х гг. измерялся сотнями миллионов тонн; он сокращался в период экономических рецессий, достигая максимума в годы экономического бума (например, 0,87 млрд т, или 10,7% внутреннего потребления в 2005 г.).

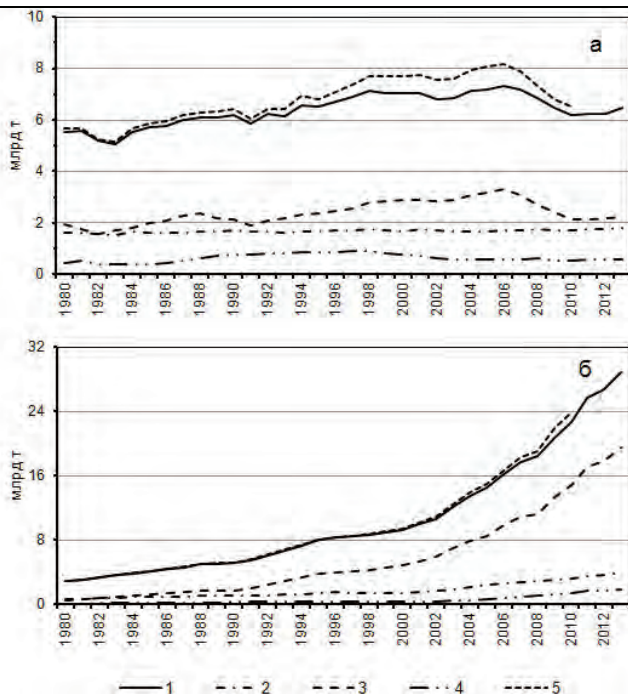


Рис. 10. Производство и потребление материалов разных видов в США (а) и Китае (б) в 1980–2013 гг. Условные обозначения: 1–4 – производство материалов: 1 – суммарное (включая биологические материалы), 2 – горючих полезных ископаемых, 3 – индустриального сырья и строительных материалов, 4 – руд металлов; 5 – суммарное потребление всех видов материалов (включая биологические).

Сокращение материалоемкости ВВП и потребления материалов на душу населения явились не единственными последствиями перехода США к экономике услуг. Многие производства – потребители минеральных материалов были перенесены за рубеж; во внешней торговле сформировался устойчивый огромный отрицательный внешнеторговый баланс (501 млрд долл. в 2016 г.), обусловленный резким преобладанием импорта товаров (2210 млрд долл.) над их экспортом (1460 млрд долл.), в том числе в торговле со странами, воспринимаемыми в качестве главных экономических конкурентов (прежде всего Китаем).

Трудности, связанные с получением участков земли для добычи полезных ископаемых, избыточное давление экологического законодательства, высокая степень геологической изученности территории и постепенное истощение ресурсов легко открываемых, неглубоко залегающих месторождений, из-за чего возрастают затраты на открытие одного месторождения, – все это лишь немногие из причин, которые делают поиски, разведку и разработку полезных ископаемых малопривлекательной сферой применения капитала и также вносят вклад в постепенную деградацию горнодобывающей отрасли в США.

Снижение внутреннего спроса на минеральное сырье в сочетании с падением мировых цен на многие его виды, выраженных в постоянных деньгах, а также с ростом издержек на его добычу, в частности, из-за высокой стоимости труда и с низкой доходностью этой отрасли в США (добыча неэнергетического минерального сырья по доходности, около 1%, занимает последнее место среди 19 отраслей экономики США) имели следствием постоянно увеличивающуюся зависимость этой страны от импорта многих видов минерального сырья. В 2015 г. США импортировали свыше 50%

потребляемых ими Cr, In, Li, Pd, Ag, барита; зависимость от импорта превысила 75% по Zn, Co, Sn, Sb, Bi, Ge, Te, Re, Pt, Y, PЗЭ, титановым концентратам, гранату (абразивному), калийным солям, штучному камню; страна на 100% зависела от привозных асбеста, бокситов, флюорита, графита, полудрагоценных камней, слюды, а также Mn, V, As, Ga, In, Nb, Rb, Sc, Sr, Ta, Tl, Th.

Особенно болезненной для США (и стран ЕС) является высокая зависимость от поставок сырья из Китая, обеспечивающего потребности американской экономики в As на 89%, Sc – 80%, Y – 78%, Sb – 68%, барите – 73%, Bi – 64%, магнезите – 54%, W – 40%, графите – 38%, слюде (чешуйчатой и скрапе) – 34%, вермикулите – 28%, Ga – 26%, тальке – 23%, Te – 21%, Ta – 18%.

Что касается нашей страны, в России, как и в США, в 2015 г. обрабатывающая промышленность уже не лидировала по величине вклада в ВВП (рис. 8в). Суммарная валовая добавленная стоимость, созданная в отраслях, производящих продукцию (сельское хозяйство, рыболовство и охота; лесное хозяйство; добыча полезных ископаемых; обрабатывающие производства; производство и распределение электроэнергии, газа и воды; строительство) в процентах от ВВП в 2015 г. в России составила 33,3% (по сравнению с 52,6% в Китае и 20,5% в США). В структуре ВВП среди прочих видов экономической деятельности в России лидирующие позиции занимают операции с недвижимостью и аренда (15,5%), а также оптовая и розничная торговля (14,1%), что стало возможным благодаря значительному объему продаж товаров, созданных в других странах, т.е. за счет большой доли импортных товаров в торговле. Вклад добычи полезных ископаемых в ВВП в России является намного более значительным (8,7%), чем в США, однако большая часть его обеспечивается производством энергоносителей, а не твердых полезных ископаемых. Материалоемкость российского ВВП только в 1992–2010 гг. снизилась с 3,4224 до 1,9748 кг/долл., т.е. в 1,7 раза. По темпам снижения потребления материалов на 1 ед. ВВП Россия сравнялась с Индией, уступала в этот период лишь Ю. Корее и Великобритании (2,14 и 2,0 раза соответственно), но опережала такие экономически развитые страны как США (1,57), Германия (1,56), Япония (1,52), Испания (1,46), Франция (1,45), Италия (1,41), Китай (1,36) и Турция (1,21). Однако только в России в этот период быстрое снижение материалоемкости ВВП сочеталось с такими низкими средними темпами его роста и объяснялось в значительной степени не модернизацией экономики, внедрением наукоемких технологий и т.д., а быстрым изменением структуры ВВП в результате сокращения производства в обрабатывающем секторе и практическим исчезновением целых отраслей промышленности в 1990-х гг.

Невостребованность одних видов минерального сырья, и малая емкость внутреннего рынка в отношении целого ряда других видов минеральной продукции является одной из важнейших проблем минерально-сырьевого комплекса России. Если для одних видов цветных металлов, например, устанавливается положительный тренд использования (Mg, Zn), то в отношении рынка других можно говорить о стагнации (Cu, Al), а для некоторых (Pb, Sn) устанавливается снижение спроса. Это связано с тем, что емкость внутреннего рынка в отношении минеральных материалов определяется состоянием основных отраслей-потребителей сырья и его производных, т.е. в случае цветных металлов, например, – черной металлургии, машиностроения, оборонно-промышленного комплекса, строительной отрасли. Значительно снизилось потребление цветных металлов в электро- и радиотехнической промышленности, автомобилестроении на фоне заполнения внутреннего российского рынка импортной продукцией соответствующих отраслей. По итогам экономического развития страны даже в относительно благополучные 2007–2013 гг. для большинства потребляющих отраслей и видов промышленной продукции индекс производства в среднем составил 100–110%, а для многих видов промышленной продукции (выпуск

электроаккумуляторов, электродвигателей, строительство судов, вертолетов, самолетов и т.д.) индекс был меньше 100%.

На экономику России негативно влияет и непомерный рост экспорта некоторых традиционных видов продукции минерально-сырьевого комплекса (никель, медь, алюминий, МПГ, алмазы) на фоне падения объемов добычи многих видов минерального сырья и это приближает структуру экономики к модели экспортно-сырьевого типа. Однако перед страной стоит проблема почти полного (по марганцу, хрому, стронцию, цирконию, ртути и др.) или весьма значительного (по свинцу и цинку, флюориту, бариту, каолину и др.) дефицита некоторых видов сырья. Новым вызовом в перспективе может явиться необходимость расширенного импорта все новых минеральных материалов, неизбежного в случае возможного увеличения их потребления при более высоких темпах роста реального сектора экономики и снижения обеспеченности запасами некоторых видов полезных ископаемых, о чем будет сказано ниже. Решение стоящей перед страной задачи по импортозамещению в сфере производства товаров не должно сопровождаться ростом импорта минерального сырья.

Многие из последствий перехода к фактически складывающейся в нашей стране экономике услуг являются не приемлемыми. События последнего времени подтверждают, что Россия сможет сохраниться только при условии самодостаточности и не может позволить себе ни колоссальный внешнеторговый дефицит, ни риски чрезмерной зависимости от внешних поставок важнейших товаров, в том числе минеральных.

Обеспеченность запасами. Важным показателем состояния минерально-сырьевого комплекса является обеспеченность запасами полезных ископаемых, т.е. количество лет, в течение которых мировая экономика может быть полностью обеспечена минеральным сырьем за счет имеющихся на сегодняшний день разведанных запасов полезных ископаемых при текущем уровне их добычи или, например, с учетом некоторого среднего темпа роста добычи, достигнутого в течение оговоренного периода времени (например, в последние 10–20 лет). Корректные расчеты обеспеченности должны учитывать, по крайней мере, неполноту извлечения запасов при добыче и потери полезного ископаемого при обогащении. Подобные расчеты возможны для конкретного месторождения. Их можно выполнить для России, где публикуются данные об извлечении полезного ископаемого из недр. Однако в мировой практике принято учитывать рудничное производство сырья и применительно к металлическим полезным ископаемым, например, приводится производство металла в концентратах. Оно меньше добычи из недр на величину потерь при обогащении или переработке добытого из недр полезного ископаемого в первый товарный продукт. Этот показатель является специфичным для конкретного месторождения, разнится от одного типа руд к другому и от страны к стране (в силу различий в структуре запасов по типам руд). Если для некоторых видов полезных ископаемых еще можно говорить о среднем коэффициенте извлечения металла в товарную продукцию (например, 90% для меди, 80% для никеля и т.д.), то для большинства видов полезных ископаемых, особенно неметаллических, такие средние показатели обычно не публикуются.

В отсутствие таких данных далее за обеспеченность запасами условно принимается частное от деления разведанных запасов полезного ископаемого на объем рудничного производства соответствующей минеральной продукции. Очевидно, что получающиеся при этом значения завышены относительно истинных. Однако для решения конкретной задачи такой подход приемлем, поскольку в дальнейшем основное значение будет иметь не сравнение видов полезных ископаемых и не точное значение отвечающих им показателей обеспеченности добычи запасами, а их динамика для разных полезных ископаемых.

По данным на 2015 г., обеспеченность мировой экономики запасами некоторых важных видов полезных ископаемых довольно низкая и демонстрирует долговременную тенденцию к снижению. Анализ ее динамики в 1995–2015 гг. выявляет снижение этого показателя для большинства из нескольких десятков видов полезных ископаемых. В полной мере это касается хрома, марганца, ванадия, цинка и свинца, сурьмы, кобальта, олова, вольфрама, ниобия, бокситов, висмута, магнетита, бора, никеля, МПГ, золота и некоторых др. видов полезных ископаемых (рис. 11). К числу достаточно редких исключений относятся, в частности, барит и графит, медь и молибден, РЗЭ, серебро и тантал. Однако рост обеспеченности некоторыми полезными ископаемыми очень незначителен (например, для серебра – 18%, меди – 22%). В ряде случаев тенденция к снижению обеспеченности запасами в 1995–2005 гг. сменяется затем ее быстрым ростом только из-за того, что именно с этого времени мировой статистикой впервые начинают учитываться отсутствовавшие до этого сведения об очень крупных запасах этих полезных ископаемых, например, на месторождениях Турции (графит) или Казахстана (барит).

Вообще обеспеченность запасами многих видов полезных ископаемых, хотя и снижается, при достигнутом уровне их добычи колеблется от 35 до 70 лет (например, марганец, медь, висмут, кобальт, ниобий, молибден, никель, вольфрам, барит, флюорит, бор), а в ряде случаев превышает 90 лет (в частности, бокситы, графит, магнетит, МПГ, РЗЭ, тантал, ванадий). Если снижение обеспеченности запасами ванадия, МПГ, магнетита, графита, бокситов не вызывают особой озабоченности, поскольку исчерпание их уже разведанных запасов произойдет за горизонтом планирования и нередко через 200–300 и более лет, то по некоторым очень важным видам сырья обеспеченность уже не превышает 10–20 лет (хром, сурьма, олово, цинк, свинец, золото, алмазы) и продолжает снижаться.

Противоречивая ситуация складывается в минерально-сырьевом комплексе России. Обеспеченность экономики страны всеми запасами промышленных категорий по некоторым видам полезных ископаемых очень велика и продолжает возрастать даже не смотря на уменьшение этих запасов. Так в 1991–2014 гг. обеспеченность запасами вольфрама возросла с 62 до 260 лет, хотя его запасы категорий А+В+С₁ сократились почти на 8% с 1356 до 1248 тыс. т WO₃. Причиной является сокращение добычи в этот период с 22,0 до 4,8 тыс. т, т.е. практически в 5 раз. В десятки раз возросла обеспеченность всеми запасами флюорита; хотя его запасы в то же период снизились на 16% с 28,5 до 23,9 млн т, добыча упала почти в 50 раз с 406 до 8,2 тыс. т.

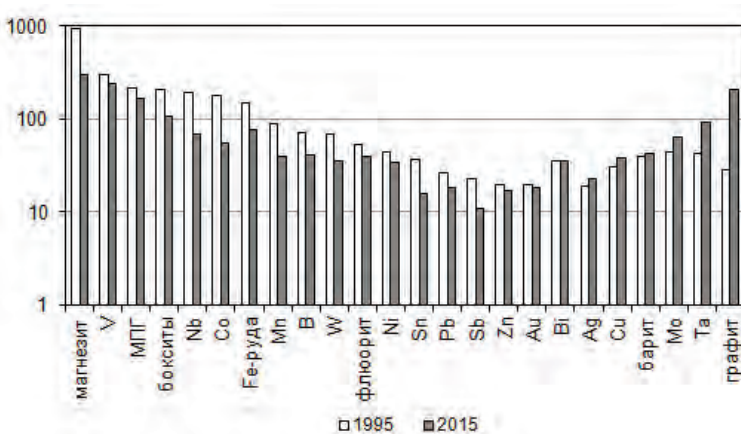


Рис. 11. Обеспеченность (в годах) мировой добычи некоторых видов полезных ископаемых их запасами.

Кроме того, особенностью минерально-сырьевого комплекса России является то, что на действующих добывающих предприятиях сосредоточена относительно небольшая часть общих, нередко очень крупных запасов. Обеспеченность уровня добычи, достигнутого в 2014 г., такими (активными) запасами в России по целому ряду позиций оказывается существенно ниже мировой (в частности, примерно в 2 раза ниже по свинцу, золоту, серебру, в 3–3,5 раза по МПГ, бариту и калийным солям, в 5 раз по хрому и т.д.) и, по всей видимости, в ближайшие 10–15 лет продолжит снижаться.

Хотя речь идет о природных ресурсах, запасы которых конечны и практически не восполняются, снижение обеспеченности запасами отражает не исчерпание полезных ископаемых, а изменение отношения в обществе к восполнению запасов. Обеспеченность запасами снижается из-за недостаточного внимания к развитию МСБ и минерально-сырьевого комплекса в целом и сокращения инвестиций в него особенно в странах с «экономикой услуг». Эта тенденция характерна и для России; так затраты на геологоразведочные работы в стране, располагающейся на 11% площади суши и контролирующей около трети минеральных богатств мира, в последние годы составляли лишь несколько десятых долей процента от мировых. В результате в стране в 1991–2014 гг. запасы промышленных категорий по цинку, например, снизились на 9%, а обеспеченность этими запасами сократилась почти на четверть.

Прямо противоположным примером является Китай, где с 2003 г. инвестиции в геологоразведочные работы и добычу полезных ископаемых возросли в 8,3 раза и составили в 2013 г. 3,3% всех инвестиций в экономику. Лишь в 2014–2015 гг. в связи начавшимся замедлением в экономике страны произошло первое за десятилетия значительное (на 11,5%) сокращение доли инвестиций в эту отрасль до 2,3% суммарных инвестиций в китайскую экономику.

Заключение. В конце XX и начале XXI в. мировой минерально-сырьевой комплекс демонстрирует тенденции к увеличению добычи и потребления минеральных материалов, концентрации их производства, снижению обеспеченности мировой и национальных экономик запасами многих видов минерального сырья.

В период после 2002 г. рост ВВП на душу населения Земли не в последнюю очередь обеспечивается увеличением потребления материалов, среди которых опережающим образом возрастает роль неметаллических полезных ископаемых и руд металлов при снижении доли горючих полезных ископаемых и особенно возобновляемых ресурсов (биоматериалов). Значение материалов вообще и минерального сырья в особенности быстро возрастает в тех регионах и странах, где реализуются крупные инфраструктурные проекты и строятся современные диверсифицированные экономики (прежде всего страны Южной и Восточной Азии).

Ускоренный рост добычи строительных материалов, индустриальных минералов, горно-химического сырья и руд металлов обеспечивает материалы для создания современной инфраструктуры и является важнейшей предпосылкой развития высокими темпами всех остальных отраслей экономики. Современная история развития крупнейших экономик мира показывает, что наиболее высокие темпы экономического роста достигаются там и тогда, где и когда он поддерживается развитием минерально-сырьевой базы и быстрым расширением производства материалов, в том числе и прежде всего твердых полезных ископаемых. Страны, оказывающиеся в силу тех или иных причин не способными обеспечить за счет собственных ресурсов недр высокие темпы роста добычи полезных ископаемых, соответствующие темпам роста их экономик, оказываются перед необходимостью в возрастающих количествах импортировать минеральное сырье и (или) его производные.

В мире в целом не наблюдается никаких признаков уменьшения значения сырьевых материалов в экономическом развитии. Сокращение добычи и потребления минерального сырья в относительно медленно развивающихся странах, в отраслевой

структуре ВВП которых доминирует сфера услуг, т.е. находящихся на постиндустриальной стадии развития производства, становится возможным только за счет роста его добычи и потребления в остальных странах, переноса обрабатывающих отраслей за пределы национальной территории и ценой растущей зависимости от внешних поставок важнейших материальных благ.

Принятие стратегии экономического развития России в ближайшее время позволит определить выбор модели развития экономики страны в предстоящие годы, а значит, динамику потребления материалов, в том числе и минеральных, будущее минерально-сырьевого комплекса страны и отношение к развитию минерально-сырьевой базы экономики.

ЧАСТЬ II. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ
СТРОЕНИЕ, СТРУКТУРА И
АЛМАЗОНОСНОСТЬ
КИМБЕРЛИТОВЫХ ПОЛЕЙ ЯКУТСКОЙ
И АРХАНГЕЛЬСКОЙ
МИНЕРАГЕНИЧЕСКИХ ПРОВИНЦИЙ



Третьяченко Владимир Васильевич (1949 г.р.) – ведущий специалист в области минерации алмазных месторождений СВ ВЕП. В 1972 году окончил геологический факультет Львовского ГУ им. И. Франко по специальности «Геологическая съёмка и поиски месторождений полезных ископаемых». Производственную деятельность начинал в Ухтинской ГРЭ ПГО «Полярноуралгеология», где до 1978 года в различных должностях занимался разведкой Ворыквинской группы месторождений бокситов Среднего Тимана. В 1978-2002 гг. в различных экспедициях (Ухтинская ГРЭ, Житомирская ГРЭ ПГО «Севургеология», ГРЭ 17 ПГО «Невскгеология») и акционерных обществах (ЗАО «Кратон», «Грань») руководил работами по поискам алмазных месторождений на Среднем Тимане, Украинском щите и на СВ ВЕП (Архангельская и Вологодская области). С конца 2003 года и по настоящее время зав. лабораторией, ведущий научный сотрудник НИГП АК «АЛРОСА». Основной круг интересов – вещественный состав кимберлитов, тектоника фундамента и платформенного чехла, литолого-фациальный анализ, палеогеография и минералогия индикаторных минералов кимберлитов промежуточных коллекторов, минералогическое и минерогенетическое районирование, прогноз и др. Ответственный исполнитель ряда производственных и тематических отчетов посвящённых алмазной тематике. Один из авторов отчета по результатам детальной разведки месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова. В 2008 году защитил диссертацию на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук. Тема работы: «Минерогенетическое районирование кимберлитовой области Юго-Восточного Беломорья». Является одним из основных исполнителей по ГДП 200 и подготовке к новому изданию листов Государственной геологической карты РФ м-ба 1:200000 СЗ Архангельской области. Автор и соавтор более 40 научных статей и тезисов докладов, посвящённых различным вопросам алмазной геологии. Участник целого ряда научных, в том числе международных конференций. Награждён знаком «Почётный разведчик недр».

В.В. Третьяченко
ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ МИНЕРАГЕНИЧЕСКОГО
РАЙОНИРОВАНИЯ АРХАНГЕЛЬСКОЙ КИМБЕРЛИТ–
ПИКРИТОВОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация

В статье изложены многоплановые данные по формационной типизации раннегерцинских вулканических образований Юго–Восточного Беломорья (ЮВБ), с выделением таксонов ранга: региональная формация – субформация (мегакомплекс) – вулканический комплекс; показаны типоморфные петрологические признаки разноранговых вулканических объектов. Базируясь на новых материалах, рассмотрены вопросы тектонического районирования: блокового строения фундамента, структурно–формационной зональности рифейского этажа, особенности основных структур плитного этапа развития. Показаны многоплановые аспекты геотектонической позиции алмазоносных кимберлитов и других комплексов. Особое внимание акцентируется на локализации алмазоносных кимберлитов – месторождений им. М.В. Ломоносова и им. В. Гриба в пределах осевой зоны палеопротерозойского коллизийного Лапландско-Кольско-Двинского орогена, что является очевидным исключением из правила Клиффорда. Выработан новый вариант минерогенетического районирования Архангельской пикрит-кимберлитовой области, как составного таксона Кольско-Двинской щёлочно-ультраосновной субпровинции, Восточно-Европейской провинции кимберлитов и карбонатитов (Фролов, 2005).

Введение

В пределах рассматриваемого региона известно более сотни проявлений раннегерцинских вулканических образований различной формационной принадлежности, которые, располагаясь в районах Кулойского плато и Онежского полуострова, характеризуются разнообразием степени алмазности, вещественного состава, внутреннего строения, возраста и т.п. При этом, в отличие от других алмазоносных провинций, здесь данные различия проявились чрезвычайно сильно и носят явно выраженный дискретный характер (Третьяченко, 2008). Так, в центральной части Кулойского плато в непосредственной близости друг от друга, расположены не только алмазоносные и не алмазоносные кимберлиты различных минералогическо-петрохимических типов, но и конвергентные породы, а также базальтовые трубки (рис. 1). Вышеизложенное предопределяет необходимость выработки системного подхода по выделению основных факторов минерагенического районирования территории, которыми, по мнению автора, прежде всего являются следующие.

1. Формационная типизация раннегерцинских вулканических комплексов и выделение вещественных критериев алмазоносных кимберлитов.
2. Особенности их геотектонической позиции относительно основных структурных элементов кристаллического фундамента и платформенного чехла.

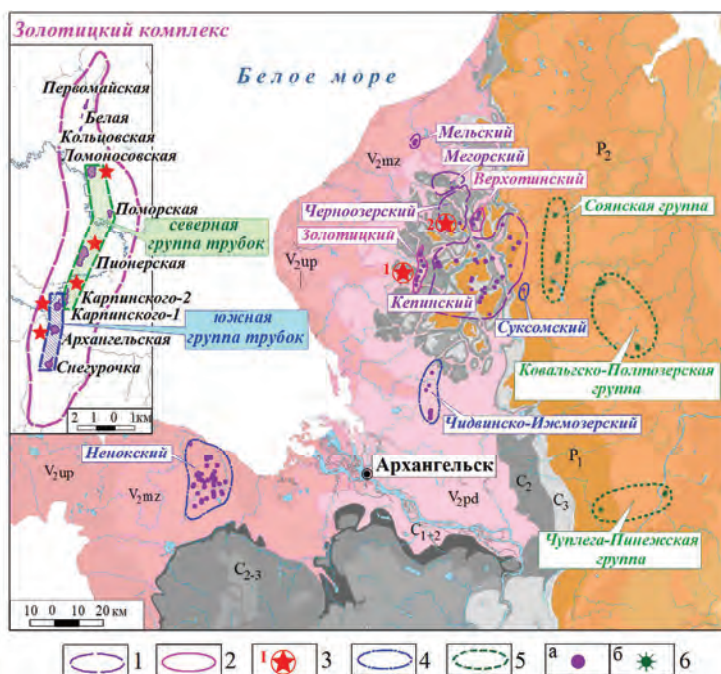


Рис. 1. Схема расположения раннегерцинских комплексов кимберлитов, конвергентных пород и базальтовых трубок взрыва Юго-Восточного Беломорья. 1–4 – Кимберлитовые и мелилитит-пикритовые комплексы: 1–2 – Субформация кимберлитов-беспироксеновых щелочных пикритов – Зимнебережный мегакомплекс: 1 – Fe–Ti тип: Кеппинский; Мегорский, Мельский; Черноозерский; 2 – Al тип: Золотицкий, Верхотинский; 3 – Месторождения алмазов: им. М.В. Ломоносова (1), им. В. Гриба (2); 4 – Субформация фельдшпатидных пикритов-оливиновых мелилититов – Ненокско-Чидвинский мегакомплекс (Al тип): Ненокский, Чидвинско-Ижмозёрский, Суксомский; 5 – Группы трубок Сояна-Пинежского базальтового комплекса: Соянская, Ковальгско-Полтозерская, Чуплего-Пинежская; 6 – Трубки взрыва: а – кимберлитов, пикритов, оливиновых мелилититов, б – толентовых базальтов.

1. Формационная типизация раннегерцинских вулканических комплексов и выделение критериев алмазоносных кимберлитов

С момента открытия в 1975 году силлов пикритовых порфиров на р. Меле, а в дальнейшем в 1980 году первой алмазоносной кимберлитовой трубки Поморская, и по настоящее время, комплексному изучению геологического строения вулканических образований ЮВБ, их возраста, петрографо-минералогической, петрохимической и геохимической характеристикам, алмазоносности, а также формационной принадлежности, посвящен целый ряд работ (Саблуков, 1995, 2000, 2005; Архангельская ..., 1999; Гаранин, 2006; Лапин, 2004; Фролов, 2005; Ларченко, 2005; Третьяченко, 2008, 2009; Веричев, 2002 и др.). Несмотря на значительный объём исследований, собственно формационному анализу кимберлитов, конвергентных пород и базальтов ЮВБ, за некоторым исключением, уделялось недостаточное внимание. С различной степенью детальности эти вопросы рассмотрены только в отдельных публикациях (Саблуков, 1995; Лапин, 2004; Третьяченко, 2008).

При этом петрогеохимические исследования зачастую должным образом не учитывают вторичные изменений пород, искажающие особенности их первичного состава. Не всегда учитываются специфические особенности минералогии. Например, вряд ли оправдано отнесение к пикритам только на основании петрогеохимических показателей (Фролов, 2005) ряда Кепинских тел, которые характеризуются высокими концентрациями пиропов и пикроильменитов и находками алмазов (Архангельская..., 1999; Кудрявцева, 2005; Гаранин, 2006). Кроме этого, в ряде работ, к оливиновым мелилитам отнесены породы Чидвинско-Ижмозёрской группы, тр. Суксомы, а также Верхотинских трубок (кроме тр. им. В. Гриба) и некоторых Кепинских тел. В связи с этим отметим, что в отличие от Ненокских трубок, для которых важнейшими типоморфными признаками являются широко развитые вкрапленники клинопироксена, низкие концентрации магния (12-18%) и высокие – глинозёма (9-13%) и щелочей; породы Чидвинско-Ижмозёрской группы и тр. Суксома не содержат таких вкрапленников и, характеризуясь повышенной магнезиальностью (MgO 22-28%) и пониженной глинозёмистостью (Al_2O_3 5-8%), несмотря на высокие содержания в них микролитов мелилита (клинопироксена), присутствие фельдшпатоидов и щелочных амфиболов, в полной мере соответствуют фельдшпатоидным пикритам. Что касается пород Верхотинских трубок и некоторых Кепинских тел, то эти образования, характеризуясь в целом большей степенью ультраосновности (см. ниже) и содержащие до 5-10% микролитов мелилита и редкой встречаемости нефелина, в лучшем случае следует относить к мелилитсодержащим беспироксеновым щелочным пикритам.

Отметим также, что выделенные С.М. Саблуковым (1995, 2000, 2005) глинозёмистая и железо-титанистая петрохимические серии, согласно рекомендациям А.В. Лапина и др. (2004), мы рассматриваем в качестве минералого-петрохимических типов пород. В части глинозёмистой серии, это подтверждается также результатами исследований, выполненными в ИГЕМ (Парсаданян, 1996), которые указывают на то, что, несмотря на определённое сходство вулканитов Золотицкой, Верхотинской и Чидвинско-Ижмозёрской групп по поведению таких элементов как Th, U, K, Nb, Hf, а также Ni, Cr, LILE, LREE и по содержаниям основных оксидов, Чидвинско-Ижмозёрские вулканиты не являются продуктами дифференциации первичного кимберлитового расплава, а связаны с самостоятельным мантийным источником. На это указывают также различные параметры Sm-Nd и Rb-Sr изотопных систем и данные абсолютной геохронологии выделенных формационных таксонов (см. далее).

Терминология

В настоящей работе классификационная терминология щелочно-ультраосновных образований ЮВБ приводится в соответствии с рекомендациями Петрографического комитета ОГГТ АН СССР (Магматические горные породы. Классификация,

номенклатура, петрография. Ч. 1, 1983). Согласно данным рекомендациям, типоморфные признаки рассматриваемых ассоциаций вулканических пород, указывают на принадлежность их к семейству щелочных пикритов с выделением в его составе собственно кимберлитов, беспироксеновых щелочных пикритов, фельдшпатоидных пикритов и оливиновых мелилититов. Приводятся также названия пород по С.М. Саблукову (1995) – кимпикриты, киммелилититы.

Данные образования в подавляющем большинстве случаев образуют территориально сближенные сообщества тел, с присущими им типоморфными признаками вещественного состава, геологического строения, а также возрастной позиции, что в свою очередь применительно к общепринятым основам формационного анализа магматических и вулканических образований, предопределяет необходимость выделения их, прежде всего, в ранге вулканических комплексов (Петрографический кодекс. Магматические и метаморфические образования, 1995).

В соответствии с Кодексом, основным региональным подразделением при расчленении природных ассоциаций горных пород является магматический комплекс, который как общий собирательный термин включает понятия – «вулканический», «плутонический» и «гипабиссальный малых интрузий». Комплексы выделяются как совокупность тел конкретной ассоциации магматических (вулканических) пород, которую рекомендуется использовать как основу при описании магматических образований региона, с присвоением каждому индивидуального названия.

В свою очередь «Вулканический комплекс – это конкретная ассоциация (парагенез) ... горных пород, слагающих геологические тела и их совокупности, располагающиеся в определенном геологическом пространстве. Породы комплекса составляют закономерную ассоциацию, которая обладает общими чертами состава, морфологии, строения и соотношения с вмещающей средой, указывающими на их образование в течение единого этапа эволюции вулканического процесса в ограниченный отрезок времени. Важнейшим признаком вулканического комплекса следует считать постоянство, устойчивость его структурно-вещественных параметров. Границы комплекса считаются резкие нарушения этого признака, которые совпадают с перерывами в вулканическом процессе и изменениями в его характере».

В данной формулировке определение вулканического комплекса достаточно близко сути такого минерогенического (формационно-минерогенического) таксона как кимберлитовое (пикритовое) поле. Следуя, главным образом, В.А. Милашеву, под термином «кимберлитовое (пикритовое) поле» мы понимаем: «Обособленный, ограниченный по площади, участок развития пространственно сближенной группы достаточно схожих по особенностям вещественного состава и степени эрозионного среза вулканических тел, формирование которых происходило при близких термодинамических и тектонических условиях в узком возрастном диапазоне; который в иерархии системного подхода является самостоятельным таксоном и занимает промежуточное положение между кимберлитовым (алмазоносным) районом и кимберлитовой трубкой (кустом, цепочкой трубок)». Размеры полей устанавливаются только эмпирически и, в нашем случае, колеблются от 6×9 км (Верхотинское) до 70×35 км (Кепинское). Суть данного определения явно не вписывается в понятие Зимнебережного поля, которое включает в себя группы тел с резко различным вещественным составом и возрастом (Прусакова, 2004 и др.).

Кроме этого, согласно Кодексу, основой петрографической систематики и классификации всего многообразия природных ассоциаций вулканических пород конкретных территорий, является понятие о региональных формациях (субформациях), как обобщенных моделях однотипных вулканических комплексов, выделение которых рекомендуется при оценке минерогенических перспектив изучаемой территории.

В соответствии с вышеприведёнными положениями Петрографического кодекса и на основании выполненного нами комплексного анализа типоморфных особенностей основных сообществ раннегерцинских вулканических образований ЮВБ, в качестве наиболее крупных региональных формационных таксонов выделяются:

- а) щелочно-ультраосновная формация Юго-Восточного Беломорья;
- б) Сояна-Пинежский долерит-базальтовый комплекс.

1.1 Щёлочно-ультраосновная формация Юго–Восточного Беломорья

Щёлочно-ультраосновная формация включает в себя около 90 трубок взрыва и субинтрузивных тел кимберлитов и конвергентных пород, которая по совокупности базовых петрологических критериев рассматривается нами в составе двух достаточно дискретно обособленных субформаций – мегакомплексов (рис. 1, рис. 2):

I – субформации кимберлитов – беспироксеновых щелочных пикритов, объединяющей в себе глинозёмистые (Al) кимберлиты и пикриты Золотицкого и Верхотинского комплексов и железо-титанистые (Fe-Ti) кимберлиты и беспироксеновые щелочные пикриты Черноозёрского (тр. им. В. Гриба), Кепинского, Мегорского и Мельского комплексов (*Зимнебережный мегакомплекс*), которые расположены в центральной и северной частях Зимнего Берега;

II – субформации глинозёмистых фельдшпатоидных пикритов – оливиновых мелилититов, в которую входят только Al фельдшпатоидные пикриты и оливиновые мелилититы Чидвинско-Ижмозёрского, Ненокского и Суксомского комплексов (*Ненокско-Чидвинский мегакомплекс*), приуроченные, главным образом, к южной части Зимнего Берега и Онежскому полуострову.

Выделенные формационные таксоны различаются по целому ряду основополагающих индикационных параметров, которые в свою очередь определяют степень их потенциальной алмазоносности. Основными из них являются:

1. Особенности высокобарофильных индикаторных аксессуаров, видовой состав глубинных нодулей, типы мантийного субстрата;
2. Петрографические особенности: количественные соотношения фенокристов оливина и клинопироксена I и II, наличие тех или иных количеств микролитов мелилита, клинопироксенов и фельдшпатоидов в основной массе пород;
3. Петрогеохимические характеристики (содержания магния, глинозёма, силикатной извести, железа, титана и щелочей, характер щёлочности; содержания ниобия, циркония, параметры изотопных систем);
4. Типоморфизм микрооксидов связующей массы;
5. Возраст вулканических комплексов.

Кроме этого, выделенные формационные таксоны различаются спецификой геологического строения конкретных тел. Ниже приводятся основные характеристики алмазоносных кимберлитов Зимнебережного мегакомплекса относительно других типов раннегерцинских щелочно-ультраосновных вулканитов ЮВБ.

1.1.1 Алмазоносные кимберлиты Зимнебережного мегакомплекса представлены глинозёмистым (Al) – Золотицким и железо-титанистым (Fe-Ti) – Черноозёрским (тр. им. В. Гриба) комплексами. *Золотицкий комплекс* включает 10 трубок (рис. 1), из которых 5 – Архангельская, Карпинского 1, Карпинского 2, Пионерская и Ломоносовская принадлежат месторождению алмазов им. М.В. Ломоносова. *Черноозёрский комплекс* (Третьяченко, 2008) представлен на сегодняшний день одной трубкой – месторождением алмазов им. В. Гриба.



Рис. 2. Схема строения щелочно-ультраосновной формации Юго-Восточного Беломорья.

Основными минералогическими особенностями промышленно алмазоносных кимберлитов являются типовые ассоциации высокбарофильных аксессуаров (ИМК) – хромдиопсид-пироп-хромитовой для Золотицких кимберлитов и существенно пироп-пикроильменитовой для тр. им. В. Гриба (таблица 1). При этом, в низко и убого алмазоносных кимберлитах Золотицкого комплекса, мы отмечаем существенное снижение концентраций ИМК. Типорфными особенностями пикроильменитов трубки им В. Гриба являются: наличие здесь зерен высокохромистой (до 7-8% Cr_2O_3) ассоциации, характерной для включений в алмазе и алмазоносных перидотитов, а также пониженные в целом концентрации окисного железа.

В целом для алмазоносных комплексов характерными являются два типа мантийного субстрата (Саблуков, 2000, 2005 и др.) – гомогенный «дунитовый», представленный, главным образом, дунитами и, редко, гипербазитами (Золотицкий комплекс) и «эклогит-клинопироксенит-перидотитовый» (Черноозёрский комплекс). Последний представлен значительным количеством типов мантийных пород. Здесь, среди гипербазитов Mg-Al серии, резко преобладают гранатые разности (от алмаз-пироповой фации глубинности до шпинель-пироповой субфации) – это гранатые дуниты, лерцолиты и клинопироксениты.

Широко распространены ильменитовые и гранат-ильменитовые перидотиты и пироксениты. Развита эклогиты, эклогитоподобные породы и гранулиты. Часто

ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ МИНЕРАГЕНИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ АРХАНГЕЛЬСКОЙ КИМБЕРЛИТ–ПИКРИТОВОЙ ОБЛАСТИ

отмечаются мегакристы пиропы, ильменита, диопсида, хромдиопсида, омфацит-жадеита, гроссуляра, ортопироксена, оливина, флогопита, рутила, многочисленные клинопироксен-флогопитовые «метасоматические породы» (таблица 1).

В петрографическом плане, высоко и среднеалмазоносные кимберлиты характеризуются явным доминированием фенокристов оливина I, весьма незначительным развитием флогопита, присутствием в отдельных случаях микролитов мелилита. В то же время, в низко и убого алмазоносных кимберлитах Золотицкого комплекса, мы наблюдаем уже повышенные концентрации оливина II, флогопита, микролитов мелилита, а также клинопироксена (глубокие горизонты тр. Пионерская).

Весьма важным признаком алмазоносных кимберлитов является типоморфизм микрооксидов связующей массы – хромитовой для Золотицких и пикроильменит-хромитовой для тр. им. В. Гриба, что однозначно указывает на превалирование восстановительных условий их формирования (таблица 2).

В плане петрохимии (рис. 3) алмазоносные кимберлиты характеризуются высокой магнезиальностью, низкими концентрациями глинозёма, почти полным отсутствием силикатной извести и калий-натровым характером щёлочности. При этом, по содержаниям титана, Золотицкие кимберлиты относятся к I типу низкотитанистых, а тр. им. В. Гриба – ко II типу умеренно-титанистых (Богатилов, 2007). Важно также, что алмазоносные кимберлиты, и Золотицкого, и Черноозёрского комплексов, существенно отличаются от не алмазоносных типов пород района по содержаниям ниобия, циркония и основным параметрам Sm-Nd и Rb-Sr изотопных систем (рис. 4).

Таблица 1. Барофильные акцессории (ИМК) и типы мантийного субстрата.

Комплексы	Ведущие барофильные акцессории (ИМК) /типы мантийного субстрата по С.М. Саблукову (2005)
<i>Глиноземистый тип</i>	
Золотицкий комплекс (месторождение им. М.В. Ломоносова)	хромдиопсид + пироп + хромит (до 0,2-0,3 кг/т) гомогенный "дунитовый" (доминирующие дуниты, редко, гранатовые и шпинелевые перидотиты Al-серии)
Чидвинско-Ижмозёрский, Суксомский, Ненокский комплекс	хромдиопсид + хромит (до 0,2-0,3 кг/т) гомогенный "дунитовый" (доминирующие дуниты)
<i>Железо-титановый тип</i>	
Черноозерский комплекс (месторождение им. В. Гриба)	хромдиопсид + пироп + пикроильменит (до 10-15 кг/т) "эклогит-клинопироксенит-перидотитовый" (гранатовые дуниты, лерцолиты и пироксениты Al-серии; ильменитовые и гранат-ильменитовые перидотиты Fe-Ti серии, эклогиты)
Кепинский комплекс	± пироп ± хромит ± пикроильменит (до 5-15 кг/т) "эклогит-перидотитовый" (гранатовые перидотиты Al-серии, ильменитовые и пироп-ильменитовые перидотиты Fe-Ti серии, эклогиты)

Таблица 2. Микрооксиды связующей массы магматической составляющей раннегерцинских вулканических комплексов ЮВБ.

Поле	Объект	Состав оксидов
Зимнебережный мегакомплекс		
Золотицкий Комплекс	Месторождение им. М.В.Ломоносова	Al,Ti-содержащие хромшпинели (преобладают, 70%) – хромовая ульвошпинель (20%) – сфен (~10%)
Черноозерский комплекс	Месторождение им. В. Гриба	Al,Ti-содержащие хромшпинели (~30%) + хромсодержащий пикроильменит (~30%) – магнезиальная Cr-содержащая ульвошпинель (~30%) – магнезиальный титаномagnetит (~3%) + перовскит (~5%) – марганцовистый ильменит (~1%)
Верхотинский Комплекс	Трубки оливиновых мелилититов	Al,Ti-содержащие хромшпинели (менее 5%) – магнезиальный Cr, Al-содержащий титаномagnetит (~40%) – титаномagnetит (~55%)
Кепинский комплекс	Трубки кимберлитов, пикритов и оливиновых мелилититов	Al,Ti-содержащие хромшпинели (<2%) + хромовая ульвошпинель (~5%) – Cr-содержащий титаномagnetит (~10%) – рутил (23-62%) – титаномagnetит (15-50%) – рутил, обогащенный примесями Nb и Fe (~20%) >Mn-содержащий ильменит (~5%)
Ненокско-Чидвинский мегакомплекс		
Чидвинско-Ижмозёрский комплекс	Трубка Чидвия	Mg-Al, Ti-содержащие хромшпинели (~20%) > титаномagnetит (~80%)
Сояно-Пинежский долерит-базальтовый комплекс		
Соянская группа трубок	Трубки щелочных базальтоидов	Исключительно Mg-Al-содержащий титаномagnetит

Одной из особенностей промышленно алмазонасных трубок Золотицкого и Черноозёрского комплексов является принадлежность их к категории крупных и весьма крупных, при незначительной степени эрозийного среза. Также для них характерна значительная степень латеральной и вертикальной неоднородности выполняющих образований, связанная с многофазовостью формирования. Общая фазовая последовательность выглядит так: ксенотуфобрекчии – туфы (туфобрекчии) – автолитовые брекчии (кластопорфировые кимберлиты) – жильные порфировые разности – вулканогенные и вулканогенно-осадочные отложения кратеров.

По особенностям морфологии и размерам, высокоалмазонасным трубкам Архангельской и Карпинского 1 Южной группы месторождения им. М.В. Ломоносова присущи близизометричные формы и однокорневое строение, тогда как среднеалмазонасные трубки Северной группы (Карпинского 2 и Пионерская), являясь двухкорневыми, имеют вытянутую гантелеобразную форму. В противоположность этому, низкоалмазонасная тр. Поморская, забалансовая среднеалмазонасная Снегурочка и убогалмазонасные (Кольцовская, Белая, Первомайская) Золотицкого комплекса, являясь однофазовыми, сложены только ксенотуфобрекчиями и относятся к категории мелких.

1.1.2 Не алмазоносные и убого алмазоносные щелочно-ультраосновные образования Зимнебережного и Ненокско-Чидвинского мегакомплексов

Не алмазоносные и убого алмазоносные кимберлиты и щелочные пикриты (кимпикриты, киммелилититы) Зимнебережного мегакомплекса (Al – Верхотинский и Fe-Ti – Кепинский, Мегорский и Мельский комплексы), а также фельдшпатоидные пикриты (киммелилититы) и оливиновые мелилититы Ненокско-Чидвинского мегакомплекса (Ненокский, Чидвинско-Ижмозёрский и Суксомский комплексы), характеризуются целым рядом типоморфных характеристик, которые в совокупности показывают весьма существенные отличия их от алмазоносных кимберлитов.

В отличие от вышеописанных алмазоносных, породы данных комплексов характеризуются явным доминированием фенокритов оливина II, а также наличием значимого переменного количества микролитов мелилита, нефелина и клинопироксена. В отдельных телах Чидвинско-Ижмозёрского комплекса установлены монтичеллит и рихтерит, в Ненокских трубках отмечается ведущая роль вкрапленников клинопироксена. Одним из основных признаков пикритов Верхотины и силлов р. Мелы является широкое развитие вкрапленников флогопита.

Существенные отличия в отношении барофильных аксессуаров (таблица 1). Так в Кепинских кимберлитах концентрации пикроильменитов, при почти полном отсутствии высокохромистого тренда и повышенных содержаниях окисного железа, на порядок, и больше, и выше, чем пиропов. При этом, впервые выполненные С.М. Саблуковым (2009) исследования по определению в пиропе микропримесей (Ti, Zr, Y, Ga, Ni, Cr) показали, что наряду с присутствием здесь пиропов т.н. алмазной ассоциации, P-T условия их образования резко отличны от таковых алмазоносных кимберлитов месторождений им. М.В. Ломоносова и им. В. Гриба (Саблуков, 2009).

По его мнению, это обусловлено «весьма интенсивным проявлением процессов «горячего» расплавленного метасоматоза под воздействием астеносферного диапира, что могло привести к уничтожению алмазов в мантии. Из-за этого, в трубках практически отсутствуют пиропы с температурными параметрами условного «алмазного окна».

Только для Кепинских кимберлитов типоморфным является «эклогит-перидотитовый» субстрат, который представлен широким набором глубинных нодулей. Среди гипербазитов Al-серии преобладают гранатовые разности, широко развиты ильменитовые и пироп-ильменитовые перидотиты и пироксениты, эклогиты и мегакристы ильменита и пироба (Саблуков, 2000, 2005 и др.).

В пикритах этого же комплекса и в Ненокско-Чидвинских трубках, при доминировании хромитов, редко фиксируются пиропы, обычны хромдиопсиды. При этом, Fe-Ti кимберлиты и пикриты Кепинского и Мегорского комплексов характеризуются повышенными и высокими концентрациями суммарного железа и титана (III тип высокотитанистых кимберлитов по (Богатилов, 2007). Для Mg-Al пикритов Верхотины установлены пониженные содержания магния при повышенной глинозёмистости и силикатной извести.

Кроме этого, типохимизм Ненокско-Чидвинского мегакомплекса выразился в резко повышенной роли глинозёма, силикатной извести и щелочей с устойчивым преобладанием натрия над калием при низких содержаниях магния (рис. 3).

В отличие от алмазоносных кимберлитов явно выраженный типоморфизм микрооксидов связующей массы, здесь проявился в титаномагнетит-рутиловой для Fe-Ti типа пород и хромит-титаномагнетитовой минерализации для Al-типа, что свидетельствует о явно выраженных окислительных обстановках образования.

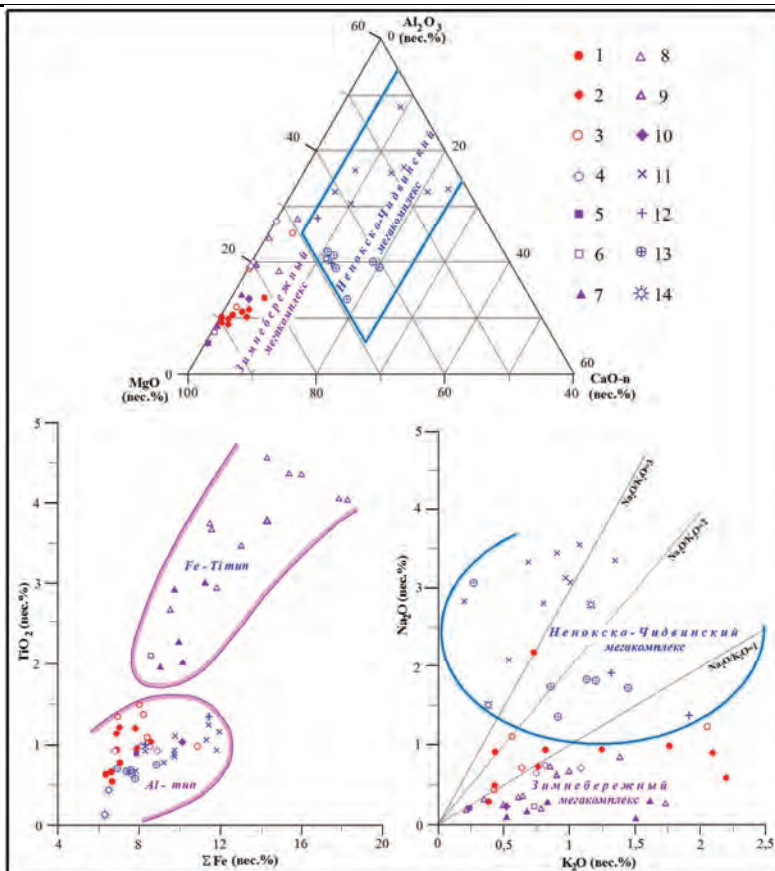


Рис. 3. Особенности химических составов магматической составляющей вулканических комплексов щелочно-ультраосновной формации ЮВБ на диаграммах: а) $\text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{CaO} - n$, ($n = \text{CO}_2 \times 1,27 + \text{P}_2\text{O}_5 \times 1,32$), б) $\Sigma\text{Fe} - \text{TiO}_2$, в) $\text{K}_2\text{O} - \text{Na}_2\text{O}$.

Субформация кимберлитов – беспироксеновых щелочных пикритов.

А. Глинозёмистый тип: 1-3 Золотицкий кимберлитовый комплекс: 1-2 промышленно алмазоносные трубки месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова: 1 – автолитовые брекчии серпентинизированные, 2 – автолиты из автолитовых брекчий, 3 – автолиты из низко- и убогоалмазоносных сапонитизированных туфов и ксенотуфобрекчий; 4 – Верхотинский комплекс беспироксеновых флогопитовых пикритов: автолиты из ксенотуфобрекчий сапонитизированных;

Б. Железо-титанистый тип: 5-6 Чернозёрский кимберлитовый комплекс (месторождение им. В. Гриба): 5 – кластопорфировые кимберлиты серпентинизированные, 6 – автолиты из кимберлитов; 7-8 Кепинский комплекс кимберлитов – беспироксеновых пикритов: 7 – порфировые кимберлиты, пикриты серпентинизированные, 8 – автолиты из ксенотуфобрекчий сапонитизированных; 9 – Мегорский комплекс кимберлитов – беспироксеновых пикритов: автолиты из ксенотуфобрекчий сапонитизированных; 10 – Мельский комплекс беспироксеновых флогопитовых пикритов.

II. Субформация фельдшпатоидных пикритов – оливиновых мелилититов.

Глинозёмистый тип: 11 – Ненокский комплекс фельдшпатоидных пикритов – оливиновых мелилититов (автолиты из автолитовых брекчий сапонитизированных); 12-13 Чидвинско-Ижмозёрский комплекс фельдшпатоидных пикритов: 12 – автолиты из ксенотуфобрекчий сапонитизированных, 13 – порфировые пикриты серпентинизированные; 14 – Суксомский комплекс фельдшпатоидных пикритов (автолитовые брекчии сапонитизированные).

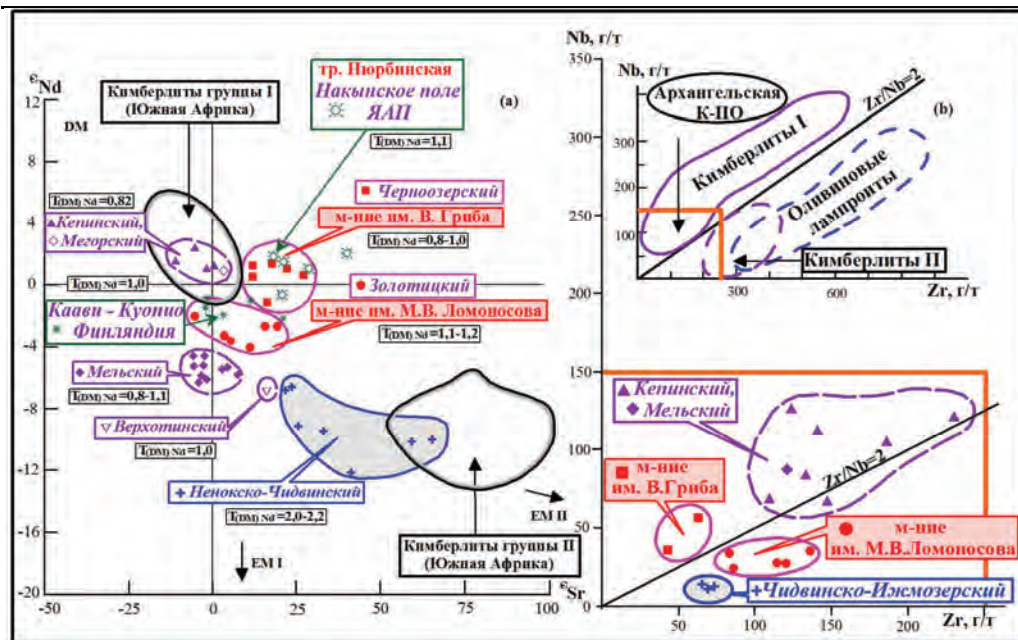


Рис. 4. Особенности распределения концентраций Nb-Zr (а) и параметры Sm-Nd и Rb-Sr изотопных систем (б) в кимберлитах и конвергентных породах в Архангельской кимберлит–пикритовой области.

Следует также отметить, что не алмазоносные и убого алмазоносные трубки Верхотинского и Кепинского комплексов – это в основном мелкие по размерам объекты, все они однофазовые и выполнены исключительно ксено- и туфобрекчиями, при очень незначительном развитии здесь кратерных построек. Важнейшим типоморфным признаком вулканитов Кепинского и Мельского комплексов является широкая проявленность, как самостоятельных, так и сопряженных с трубками взрыва, образований субинтрузивных фаций (многоэтажные системы силлов).

Среди тел Ненокско-Чидвинского мегакомплекса резко преобладают трубки взрыва, но появляются штоко- и дайкообразные тела, сложенные только массивными разностями пород (тр. Весенняя, Ижмозёрская, Озерная, Летняя в Чидвинско-Ижмозёрском комплексе и Усть-Сюзьма в Ненокском). На глубоких горизонтах тр. Чидвинской и в отдельных трубках Ненокского комплекса установлены маломощные жилы, соответственно массивных пикритов и оливиновых мелилититов. Здесь полностью отсутствуют системы многоэтажных силлов. Трубки по размерам весьма крупные, крупные и средние, среди которых отмечаются уникальные – Суксома (170 га) и Чидвинская (74 га). Наряду с довольно простыми объектами, выполненными породами одной разновидности, для части изученных тел установлена многофазовость их становления. Для отдельных трубок (Суксома и Чидвинская) характерно наличие сложнопостроенного кратера с весьма значительной мощностью туфогенно-осадочных пород достигающей 270 м.

В целом, индикационные характеристики не алмазоносных (убого алмазоносных) Fe-Ti кимберлитов и беспироксеновых пикритов Зимнебережного мегакомплекса позволяют сопоставить их с кимберлитами группы I Южной Африки и кимберлитами и пикритами северных полей ЯАП (III тип высокотитанистых кимберлитов по (Богатиков, 2007)). Фельдшпатоидные пикриты и оливиновые мелилититы Ненокско-Чидвинского

мегакомплекса наиболее близки альнеит-пикритам, а по параметрам Sm-Nd и Rb-Sr изотопных систем тяготеют к кимберлитам группы II Южной Африки.

1.1.3 Сояна-Пинежский долерит-базальтовый комплекс (рис. 1) объединяет три группы трубок в восточной части ЮВБ: Соянскую, Ковальгско-Полтозерскую и Чуплега-Пинежскую (Саблуков, 1995; Архангельская алмазоносная ..., 1999; Третьяченко, 2004, 2008). Характерной чертой трубок является наличие хорошо выраженного и выполненного вулканогенно-осадочными отложениями раструба – кратера, мощностью до 250 м. Вулканыты жерловой фации представлены туфами средне-крупнопсефитовыми до агломератовых с содержанием базальтовой пирокластики – 40-50%, в отдельных случаях наблюдаются маломощные дайки долерито-базальтов и оливиновых долеритов. В трубке ан. 1026 встречены слабоизмененные кластолавы с реликтами свежего вулканического стекла, плагиоклаза и клинопироксена (материалы С.М. Саблукова, 1990 г.). Оксидная минерализация представлена, главным образом, Al-Mg-содержащим титаномagnetитом (95%) и примесью Mn-содержащего ильменита (5%). По своим петрохимическим характеристикам слабоизменённые долерито-базальты, оливиновые долериты, а также свежее вулканическое стекло характеризуются составами вполне сопоставимыми с толеитовыми базальтами нормального ряда внутриплитных континентальных обстановок. На это же указывают их геохимические особенности (Парсаданян, 1996), что отражает на наш взгляд истинное положение вещей по отношению к Сояна-Пинежскому комплексу в целом и позволяет рассматривать его в составе раннегерцинской долерит-базальтовой формации Восточно-Европейской платформы.

1.1.4 Возраст вулканических комплексов

Одной из важнейших для исследуемого региона является проблема возраста различных сообществ вулкаников, что имеет непосредственное отношение к типизации вулканических комплексов и определению их минерагенического потенциала.

В этом плане, прежде всего, нужно отметить ряд принципиальных основополагающих выкладок (Третьяченко, 2007, 2008, 2009).

1. Трубки взрыва (силлы) ЮВБ прорывают отложения верхнего венда-нижнего кембрия, а самыми древними перекрывающими являются породы верхнего визе – тр. Верхнетовская (Ан. 691) и тр. им. В. Гриба.

2. Мощные кратерные постройки установлены для ряда трубок Золотицкого, Чидвинско-Ижмозёрского, Суксомского и Сояна-Пинежского комплексов. В подавляющем большинстве тел Кепинского и Мегорского комплексов кратерные постройки отсутствуют, что наряду с незначительными размерами трубок, указывает на существенно более значительную степень эрозионного среза.

3. По наличию литокластов раннего палеозоя (см. ниже) в раннегерцинских вулканиках ЮВБ, достаточно отчётливо выделяются три основные разновозрастные группы трубок (Саблуков, 1995; Ларченко, 2005; Третьяченко, 2008, 2009):

- группа I – трубки, в которых литокласты позднего кембрия – раннего силура установлены в больших количествах, вплоть до огромных рифов «видимой мощностью» до 150 м – это Кепинский и Мегорский (тр. 691) комплексы;
- группа II – повсеместно присутствует, в целом, незначительное количество литокластов, представленных однотипными тонкотерригенными породами позднего кембрия – раннего ордовика (Чидвинская, Апрельская, Суксома, базальтовые трубки и отдельные трубки Ненокского комплекса);
- группа III – литокласты данного возраста отсутствуют полностью – Золотицкий, Черноозёрский, Верхотинский комплексы.

При этом, представителей всех трёх групп мы наблюдаем в пределах весьма ограниченного по размерам участка недр (всего-навсего 30×40 км), а расстояния между конкретными трубками различных типов составляют только 6-10 км.

Впервые вопросы возраста вулканитов были проработаны С.М. Саблуковым (Саблуков, 1987, 1995; Веричев, Саблуков 1999), который, основываясь на результатах изучения литокластов палеофлоры, обнаруженных и изученных в трубках Онежского полуострова и Зимнего Берега, а также факте наличия или отсутствия в них литокластов позднего кембрия – среднего ордовика, отсутствующих в современном геологическом разрезе, впервые пришёл к заключению о том, что кимберлитовый и базальтовый вулканизм региона проявился в связи с активизацией Севера ВЕП в позднем девоне (фран), а не в позднебайкальскую эпоху, как считалось ранее.

В дальнейшем Е.М. Веричевым (2002), в рамках временного диапазона 374 – 350 млн. лет была предложена такая последовательность формирования вулканических образований Зимнебережного района – Кепинское поле, трубки: Верхнетовская, Чидвинская, Апрельская → Золотицкое поле → тр. им. В.Гриба, мелилититы Верхотинской группы, пикриты Ижмозёрской группы.

В более поздней работе В.А. Ларченко (2005), была дана следующая этапность: I – средний девон (кратер трубки 496 Кепинского комплекса); II – фран-фамен: фран – остальные тела Кепинского комплекса, трубки Чидвинской группы, а также Суксома, Ан. 691 и базальтовые трубки; фамен – Золотицкая, Верхотинская группы и тр. им. В. Гриба, и III – ранний карбон (возможно фамен) – трубка Ижмозёрская.

По состоянию на сегодняшний день информация по возрасту вулканитов существенно дополнена результатами радиологических датировок пород Золотицкого, Черноозёрского, Чидвинско-Ижмозёрского, Мельского и Кепинского комплексов (таблица 3), выполненных, главным образом, в ИГЕМ (Ларионова, 2016). Датировки кимберлитов Мегорского и Верхотинского комплексов отсутствуют.

При анализе результатов датирования, обращают на себя внимание, прежде всего, 2 самые древние датировки. Это силл кимберлитов ан. 697 Кепинского комплекса (Rb-Sr) – $397 \pm 1,2$ млн. лет и силлы Мелы (K-Ar) – 393 ± 8 млн. лет. Подавляющее большинство Rb-Sr датировок по Золотицкому и Черноозёрскому комплексам дают нам интервал 372–375 млн. лет, что соответствует рубежу франа – фамена и 2 датировки (380 млн. лет) указывают на ранний фран. Следует отметить также Ar-Ar датировку тр. Карпинского 1 – 323 ± 19 млн. лет. При этом, мы должны в полной мере отдавать себе отчёт в том, что в данном случае Rb-Sr датировки получены по валу и флогопиту, что, во-первых, не исключает попадания в пробы существенно более древнего флогопита глубинных нодулей, и, во-вторых, указывает, в лучшем случае, на начальную стадию субинтрузивного этапа, без учёта продолжительного времени формирования трубок в целом. Что до K-Ar датировок фельдшпатоидных пикритов трубок Ижмозёрской и Озёрной, то полученные значения в интервале 355–368 млн. лет, при весьма значительных показателях неопределённости (± 10 –18 млн. лет, в целом следует считать существенно «омоложенными».

Наряду с материалами по макрофлористическим остаткам, установленным в трубках взрыва и изотопному датированию пород, особого внимания заслуживают результаты изучения палинокомплексов выявленных в отдельных трубках Сояна-Пинежского, Ненокского и Золотицкого комплексов.

Прежде всего, это выявленный О.А. Орловой (МГУ, 2007 г.) комплекс миоспор в стратифицированных туфопесчаниках кратера базальтовой трубки 782 (коллекция автора), с обилием крупных (до 3–4 см), расположенных на плоскостях напластования углефицированных растительных остатков. По заключению М.Г. Раскатовой (Воронежский ГУ, 2008), с учётом видового состава палинокомплекса, здесь можно уверенно говорить о позднеживетском возрасте изученных отложений – Коми надгоризонт, охарактеризованный палинозоной *Contagisporites optivus* – *Spelaeotriletes krestovnikovii* (OK) (Третьяченко, 2008, 2009).

Таблица 3. Геохронологические данные для кимберлитов и конвергентных пород Архангельской кимберлит-пикритовой области.

Трубка, силл	Возраст, млн. лет	Метод	Источник	Материал, по которому проводилось датирование
<i>Зимнебережный мегакомплекс</i>				
<i>Кепинский комплекс</i>				
Силл 697	$397 \pm 1,2$	Rb-Sr	Ларионова, 2016	Изохрона по валовой пробе и флогопиту
<i>Черноозерский комплекс</i>				
Тр. им. В. Гриба	373 ± 5	Rb-Sr	Sablukov, Sablukova, 2008	Нет данных
	372 ± 8	Rb-Sr	Шевченко и др., 2004	Изохрона по 5 валовым пробам
	374 ± 1	Rb-Sr	Ларионова, 2016	Флогопит
<i>Золотицкий комплекс</i>				
Тр. Пионерская	380 ± 6	Rb-Sr	Первов и др., 2005	Изохрона по валовой пробе, флогопиту и основной массе
Тр. Ломоносовская	355 ± 10	K-Ar	Веричев и др., 2002	Валовая проба
Тр. Карпинского 1	323 ± 19	$^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$	Махоткин и др., 2007	Келефитовые каймы пиропов и Сг-диопсидов
Тр. Карпинского 1	380 ± 2	Rb-Sr	Ларионова, 2016	Флогопит и валовая проба
Тр. Карпинского 2	375 ± 2	Rb-Sr	Ларионова, 2016	Флогопит и валовая проба
<i>Мельский комплекс</i>				
Силлы Мелы	393 ± 8	K-Ar	Первов и др., 2005	Валовая проба
	366 ± 4	Rb-Sr	Первов и др., 2005	Двухточечные изохроны по флогопиту и карбонату
<i>Ненокско-Чидвинский мегакомплекс</i>				
<i>Чидвинско-Ижмозёрский комплекс</i>				
Тр. Ижмозёрская	355 ± 10	K-Ar	Ларченко и др., 2005	Валовая проба
	368 ± 18	K-Ar	Не опубликованные данные ИГЕМ (Первов, Носова, 2005)	Валовая проба
Тр. Озерная	358 ± 12	K-Ar	Не опубликованные данные ИГЕМ (Первов, Носова, 2005)	Валовая проба
	368 ± 12	K-Ar	Не опубликованные данные ИГЕМ (Первов, Носова, 2005)	Валовая проба

Кроме этого, А.Д. Архангельской (ВНИГРИ, 1984 г.) в ксенотуфобрекчиях трубки Болванцы Ненокского комплекса был установлен пашийский (нижняя часть Коми надгоризонта) комплекс миоспор (совместно с *Callixylon*) (Саблуков, 1987). По нашим материалам комплекс миоспор этого же стратиграфического уровня установлен М.Г. Раскатовой в трубке G 429 данного комплекса.

К этому следует добавить, что установленный ранее И.А. Сиверцевой (1987) комплекс миоспор в кратере трубки Снегурочка (Ларченко, 2005), указывает на их фаменский возраст. В дальнейшем это подтверждено также заключением М.Г. Раскатовой (2008 г.).

Здесь же следует отметить наличие зоны коры выветривания латеритного типа (с «железной шляпой» в кровле) на границе нижней и верхней пачек кратера трубки Карпинского 1. Что свидетельствует о значительном стратиграфическом перерыве, который вероятнее всего, исходя из анализа палеогеографических и палеоклиматических обстановок, мог проявиться в данном случае, только в раннем карбоне (раннекаменноугольная эпоха бокситообразования – Южно-Тиманская, Северо-Онежская и Тихвинская провинции).

Таким образом, в отличие от широкого возрастного диапазона макрофлористических остатков (Саблуков, 1987, 1995), имеющиеся заключения по комплексам миоспор, позволяют утверждать следующее.

1. Формирование Ненокских и базальтовых трубок произошло в течение позднего живета, что позволяет сопоставлять данный уровень базальтовыми покровами джьерского горизонта Коми надгоризонта Тимана (Цыганко, 2006).

2. Принимая во внимание однотипный набор (по сравнению с базальтовыми диатремами) литокластов нижнего палеозоя в Чидвинской, Апрельской и Суксомской трубках, такой же возраст предполагается в целом для Чидвинско-Ижмозёрского и Суксомского комплексов.

3. Это, в свою очередь, предопределяет более ранний возраст Кепинского и Мегорского и более поздний – Золотицкого, Черноозёрского и Верхотинского комплексов, что в целом согласуется с изотопными датировками.

На основании комплексного анализа материалов по возрасту литокластов нижнего палеозоя и растительных остатков в трубках взрыва, а также результатов изотопного датирования пород, в составе раннегерцинского цикла ЮББ нами выделено два основных этапа щелочно-ультраосновного и базальтового вулканизма.

I – пражско-раннефранский (410-380 млн. лет), в течение которого были сформированы: Кепинский, Мегорский и Мельский комплексы (пражско-раннеживетская эпоха 410-390 млн. лет); и Ненокский, Чидвинско-Ижмозёрский, Суксомский и Сояна-Пинежский комплексы (позднеживетско-раннефранская эпоха 390-380 млн. лет);

II – позднефранско-ранневизейский (375-340 млн. лет), в течение которого произошло становление трубок Золотицкого, Черноозёрского (тр. им. В. Гриба) и Верхотинского комплексов.

Особо следует отметить, что продуктивная позднефранско-ранневизейская эпоха является весьма близким возрастным аналогом эпохи внедрения промышленно алмазоносных трубок Мало-Ботуобинского, Алакитского, Далдынского и Верхнемунского кимберлитовых полей Якутской алмазоносной провинции. Следует отметить также, что выделенная нами самая ранняя пражско-раннеживетская эпоха – 410-390 млн. лет, исходя из возраста тр. Нюрбинская – $399,6 \pm 4,6$ млн. лет (Саблуков, 2010), в принципе соответствует эпохе формирования трубок Накынского поля ЯАП.

В рамках выделенных этапов и эпох, формирование отдельных комплексов, вероятнее всего, происходило в течение относительно кратковременных периодов, приуроченных к определённым геотектоническим событиям в пределах северо-востока

ВЕР, которые, в свою очередь, были тесно связаны с особенностями геодинамических режимов в прилегающих складчатых системах Фенноскандии и Урала. Основная роль в формировании алмазоносных кимберлитов (375-340 млн. лет) отводится фазам сжатия и литосферной складчатости северо-востока ВЕР, тогда как для различных типов вулканитов I этапа, более характерно чередование эпизодов растяжения (рифтогенез, базальтовый вулканизм) – сжатия.

В целом, подводя итог формационной типизации раннегерцинских комплексов ЮВБ, отметим следующие основные положения.

- Это весьма контрастно проявленная дискретность типоморфных особенностей вещественного состава, геологического строения, возраста и степени алмазоносности разноранговых сообществ вулканитов, зачастую расположенных в непосредственной близости друг от друга; наличие двух ярко выраженных минералого-петрохимических типов пород – глинозёмистого и железо-титанистого, а также толеитовых базальтов.

- Промышленно алмазоносные кимберлиты Золотицкого и Черноозёрского комплексов, характеризуясь целым рядом типоморфных признаков петрологического плана, сформированы на протяжении самой поздней фаменско-ранневизейской эпохи, которая является весьма близким возрастным аналогом эпохи внедрения промышленно алмазоносных трубок Мало-Ботуобинского, Алакитского, Далдынского и Верхнемунского кимберлитовых полей Западной Якутии. Становление их происходило в условиях сжатия и литосферной складчатости северо-востока ВЕР.

- По минералого-петрохимическим особенностям промышленно алмазоносные АI кимберлиты Золотицкого комплекса – I тип низкотитанистых кимберлитов по (Богатиков, 2007), сопоставляются с высокоалмазоносными Накынскими кимберлитами ЯАП, а Fe-Ti – Черноозёрского – II тип умеренно-титанистых кимберлитов с Мало-Ботуобинскими и Далдыно-Алакитскими кимберлитами ЯАП.

- По основным изотопным характеристикам промышленно алмазоносные кимберлиты Зимнего Берега практически аналогичны алмазоносным кимберлитам тр. Нюрбинская ЯАП и трубкам Каави-Куопио Восточной Финляндии. При этом, по отношению к кимберлитам I и II групп Южной Африки, они занимают промежуточное положение и могут быть выделены в самостоятельный Архангельский тип (рис. 4).

- Типоморфные индикационные признаки железо-титанистых кимберлитов и беспироксеновых щелочных пикритов Кепинского и Мегорского комплексов позволяют достаточно уверенно сопоставить их с кимберлитами группы I Южной Африки (рис. 4) и с кимберлитами и щелочными пикритами северных полей ЯАП (III тип высокотитанистых кимберлитов по (Богатиков, 2007)).

- Фельдшпатоидные пикриты и оливиновые мелилититы Ненокско-Чидвинского мегакомплекса испытывая определённое сходство с глинозёмистыми кимберлитами Золотицкого комплекса и пикритами Верхотины, по набору основных характеристик наиболее близки альнеит-пикритам. При этом, в качестве основного критерия здесь выступает взаимодополняющий комплекс вещественных параметров, которые, по отношению к Зимнебережному мегакомплексу, фиксируют резкие изменения в степени ультраосновности пород и характере щёлочности. По параметрам Sm-Nd и Rb-Sr изотопных систем, данные образования тяготеют к кимберлитам группы II Южной Африки (рис. 4).

- Выделенные в составе щёлочно-ультраосновной формации ЮВБ в качестве самостоятельных таксонов две субформации (мегакомплексы) – кимберлитов – беспироксеновых щелочных пикритов и фельдшпатоидных пикритов – оливиновых мелилититов и входящие в их состав вулканические комплексы достаточно отчётливо выражены рядом индикационных признаков петрологического плана, что позволяет использовать их в качестве основополагающих факторов (критериев) при решении вопросов минерагенического (формационно-минерагенического) районирования.

– Петрологические особенности Сояна-Пинежского долерит-базальтового комплекса вполне сопоставимы с таковыми для толеитовых базальтов нормального ряда внутриплитных континентальных обстановок, что позволяет рассматривать данный комплекс в составе раннегерцинской долерит-базальтовой формации ВЕП.

2. Геотектоническая позиция вулканических комплексов относительно основных структур кристаллического фундамента и платформенного чехла

Начиная с работ Т. Клиффорда, геотектоническим критериям размещения алмазонасных кимберлитов посвящено большое количество исследований отечественных и зарубежных геологов. В основе современных тектонических разработок лежат следующие эмпирически установленные закономерности.

Кимберлиты встречаются только на древних платформах.

Промышленно алмазонасные кимберлиты развиты преимущественно в пределах участков архейской консолидации (кратонов, архонов) и избегают подвижные пояса, а также собственно рифтовые зоны, в том числе рифея.

Кимберлитовые поля и их совокупности приурочены к линейным кимберлитоконтролирующим (минерагеническим) зонам, протяженность которых измеряется сотнями и тысячами километров.

Не вдаваясь в анализ существующих точек зрения в отношении структурного контроля, как промышленно алмазонасных кимберлитов, так и конвергентных пород, отметим только следующее.

1. По А.В. Манакову (1999), эмпирически установленным фактом является приуроченность алмазонасных кимберлитов к корневым частям древних кратонов, где выделяется литосферный мантийный корень с килевыми зонами. Кроме этого, применительно к данному региону, характеристика глубинных факторов тектонического контроля, в том числе алмазонасных кимберлитов, наиболее детально приведена в работе Н.А. Прусаковой (2004).

2. В самое последнее время А.В. Самсоновым с соавторами (2007, 2009, 2012), по отношению к промышленно алмазонасным кимберлитам Архангельской провинции, развивается гипотеза, согласно которой алмазонасные кимберлиты Зимнего Берега локализируются в пределах палеопротерозойской (1,8-2,0 млрд. лет) зоны, являющейся продолжением Лапландско-Кольского орогена – крупной палеопротерозойской структуры, сформированной при закрытии палеопротерозойского океана в ходе коллизии Карельского и Кольско-Мурманского архейских континентальных блоков. По этим данным гипотеза локализации алмазонасных кимберлитов в палеопротерозойских зонах сочленения архейских блоков – в «швах» – не противоречит представлениям о сохранных корнях архейской литосферы как вероятном источнике алмазов, выносимых кимберлитами, а напротив, предлагает возможный механизм их формирования, поскольку в зонах палеопротерозойской коллизии тектоническое сдвигание (сдвигание) архейских континентальных блоков могло обеспечивать захоронение фрагментов уже остывшей архейской литосферы на значительных глубинах. Таким образом происходило образование холодного литосферного корня – источника алмазов. Наряду с механизмом формирования литосферного источника алмазов, «гипотеза швов» предлагает также и путь сохранной доставки этих алмазов к поверхности по наиболее проницаемым глубинным шовным зонам.

3. Платформенные кимберлитоконтролирующие структуры наиболее детально охарактеризованы в Якутской алмазонасной провинции (Горев, 2001; Зинчук, 2004 и др.), где в качестве основных рассматриваются бортовые зоны рифейских и палеозойских рифтовых зон, а также Непско-Ботуобинское палеоподнятие байкальского и раннегерцинского этапов тектогенеза.

Вышеизложенное предопределяет необходимость создания такой концепции структурного контроля раннегерцинских кимберлитов и конвергентных пород ЮВБ, которая, базируясь на достаточном объёме фактического материала, смогла бы в максимальной степени прояснить положение алмазоносных кимберлитов в структурах и фундамента и платформенного чехла. Ниже приводятся основные сведения по тектоническому районированию архей-палеопротерозойского фундамента, авлакогенного рифей-ранневендского структурного этажа, а также нижнего и среднего палеозоя (Третьяченко, 2008, 2009–2, 2013; 2014 и др.). Как малоинформативные здесь не рассматриваются элементы тектоники позднего венда и позднего палеозоя.

2.1 Архей-палеопротерозойский фундамент

Сведения о строении фундамента ЮВБ до середины 80-х годов прошлого века базировались только на поверхностном изучении керна весьма ограниченного количества буровых скважин, пройденных на Онежском полуострове и в низовьях Северной Двины, а также данных разноплановых геофизических исследований. В 80-е годы прошлого столетия, в связи с разворачиванием поисковых работ на алмазы, кристаллический фундамент Зимнебережного района был вскрыт семью глубокими скважинами: 101 Ручьи, 1200 Падун, 570 Светлая, 773 Степановка, 775 Кепина, 771 Ижмозёрская, СП-1 Семиозерье (рис. 5), некоторая часть новой информации была получена при изучении видового состава ксенолитов кристаллических пород в трубках взрыва. Отметим, что все полученные сведения носили только чисто описательный характер, данные по возрасту пород и прецизионной геохимии отсутствовали.

Новый этап изучения фундамента ЮВБ связан с фундаментальными исследованиями, найденного с большим трудом kernового материала, ранее пробуренных (и на сегодняшний день окончательно потерянных для исследований) скважин, которые стали возможны только в последнее время, благодаря работам А.В. Самсонова и А.А. Носовой (лаборатория петрографии ИГЕМ) в содружестве с подразделениями АК «АЛРОСА» – ЯНИГП ЦНИГРИ, (НИГП) и филиала «АЛРОСА–Поморье», и выполнялись в рамках подрядных работ ИГЕМ с филиалом «АЛРОСА–Поморье». По результатам этих работ и в ходе дальнейших исследований, получен значительный объём новой оригинальной информации по вещественному составу и изотопным датировкам, как kernового материала по верхней части фундамента, так и ксенолитов кристаллических пород в трубках взрыва. Исследования этого плана продолжаются по сегодняшний день. Наиболее полная информация по различным аспектам кристаллического фундамента ЮВБ приведена в работах А.В. Самсонова с соавторами (Самсонов, 2009 и Samsonov et al., 2012, 2013), а также в публикациях (Третьяченко, 2008, 2013, 2014; Грибань, 2012). Здесь же мы отметим только основные результаты исследований, выполненных на сегодняшний день и, касающиеся, прежде всего, возраста пород, а также их первичной природы.

В соответствии с принятой в настоящей работе схемой тектонического районирования фундамента ЮВБ, в его составе в качестве структур первого порядка с юго-запада на северо-восток выделяются (рис. 5): неоархейский Нижне-Онежский блок Беломорского подвижного пояса (БПП), палеопротерозойские Северодвинский, Зимнебережный и Мегринско-Соянский блоки Лапландско-Кольско-Двинского орогена и неоархейский Мезенский блок, как продолжение Мурманской блока БЩ.

Нижнеонежский блок представлен гранито-гнейсовыми, зеленокаменными и парагнейсовыми комплексами, которые по химическому составу, Sm-Nd модельным возрастам и условиям метаморфизма (скв. Мязозеро, карьер Покровский), хорошо сопоставляются с неоархейскими комплексами БПП Балтийского щита (рис. 6).

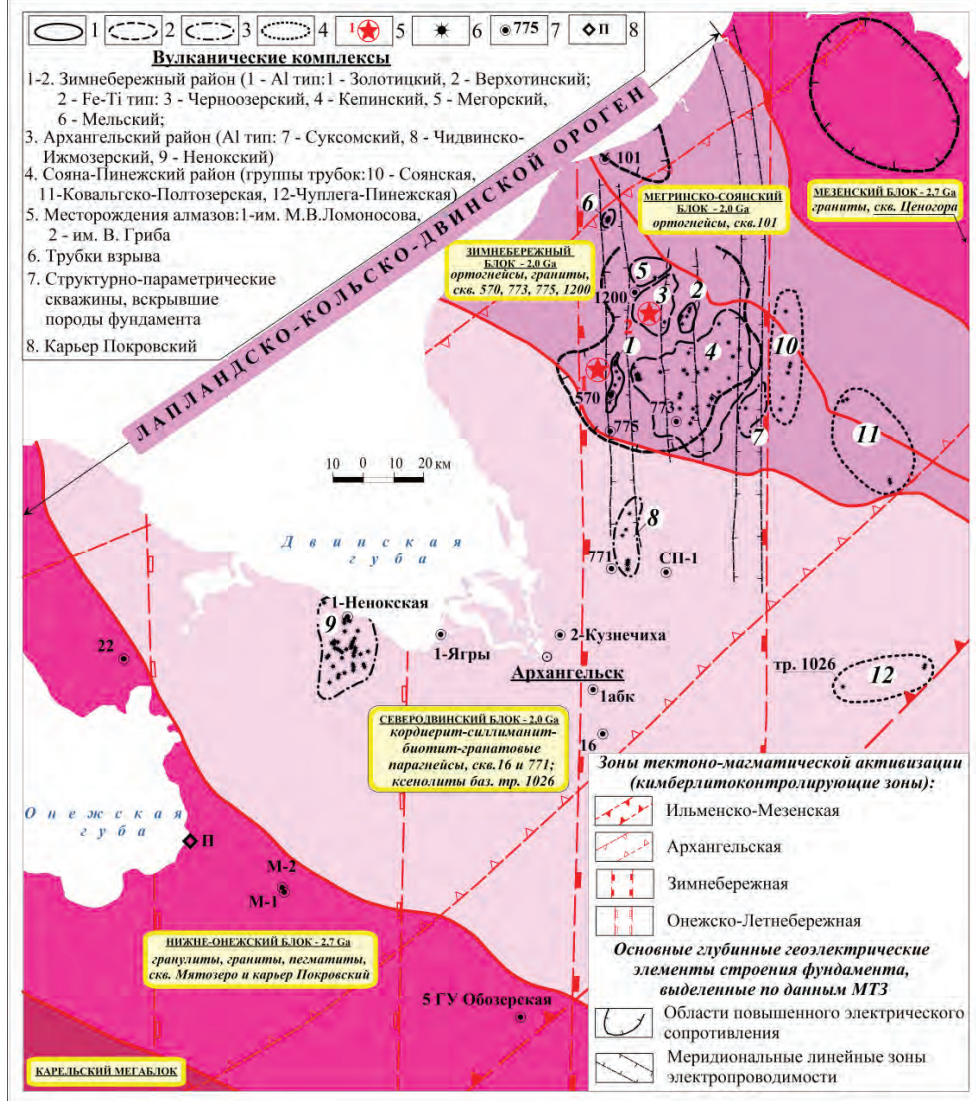


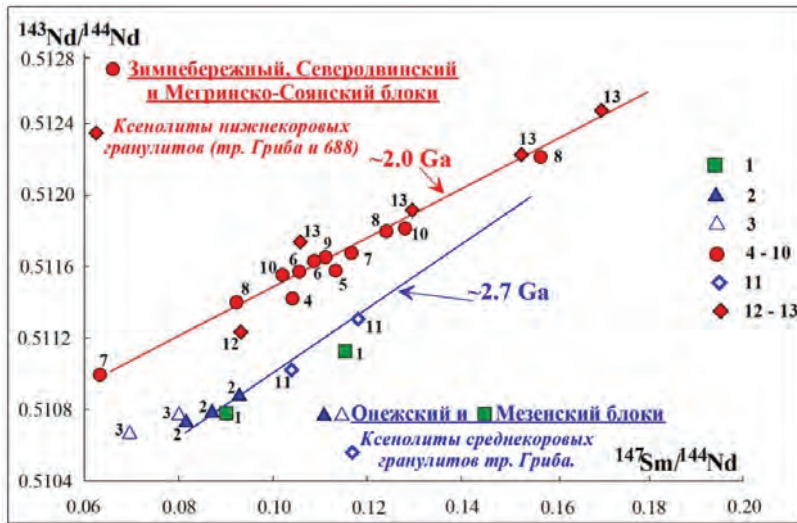
Рис. 5. Схема расположения раннегерцинских комплексов кимберлитов, конвергентных пород и базальтовых трубок взрыва Юго-Восточного Беломорья в структурах неoarхей-палеопротерозойского фундамента.

Северодвинский блок по результатам изучения керна скв. 771, 16 и ксенолитов из базальтовой трубки 1026, сложен различными высокоглинозёмистыми гнейсами, Sm-Nd возраст которых составил 1,8-2,0 млрд. лет (рис. 6). В целом данные парагнейсы сопоставимы с палеопротерозойскими кондалитами – Умбинского блока Лапландско-Кольского орогена БЩ. По результатам изучения цирконов из пикритов трубки Весенняя Чидвинско-Ижмозёрского комплекса установлено, что цирконы с возрастaми 2,7-2,9 млрд. лет составляют здесь незначительную часть, преобладают возрастa 1,7-1,9 млрд. лет, присутствуют также цирконы возрастной группы 0,8-1,5 млрд. лет, что указывает на проявленные термальные эпизоды гренвилльского цикла (рис. 7).

Зимнебережный блок по результатам изучения керна скважин 570, 773, 775 и 1200 (рис. 5), сложен различными тоналит-грондсемит-гранодиоритовыми ортогнейсами, которые являются метаморфизованными и тектонизированными

известково-щелочными габброидами, кварцевыми диоритами, лампрофирами, гранодиоритами и гранитами. Sm-Nd модельные возрасты всех типов пород – 1,9-2,2 млрд. лет (рис. 6). U-Pb датирование цирконов из гранодиоритов скв. 570 и 773 дало возраст 1,98 млрд. лет (рис. 6).

а.)



Архей: 1 – Мезенский блок, скв. Ценогора – граниты; 2-3 Нижне-Онежский блок (БПП): скв. Мязозеро, карьер Покровский: 2 – парагнейсы, амфиболиты, 3 – граниты и пегматиты; **Палеопротерозой:** 4-5 Северодвинский блок, кордиерит-силлиманит-биотит-гранатовые парагнейсы: 4 – скв. 771 Ижмозёрская, 5 – скв. 16;

6-9 Зимнебережный блок: 6 – скв. 773 Степановка, кварцевые диориты, гранодиориты; 7 – скв. 775 Кепино, кварцевые диориты, гранодиориты; 8 – скв. 570 Светлая – метагаббро, кварцевые диориты, гранодиориты, граниты; 9 – скв. 1200 Падун – граниты; 10 – Мегринско-Соянский блок, скв. 101 Ручьи – гранодиориты;

11-13 – ксенолиты пород фундамента в трубках Зимнебережного метаконглоката:

11 – ксенолиты среднекорковых гранулитов из кимберлитов трубки им. В. Гриба;

12-13 – ксенолиты нижнекорковых гранулитов: 12 – тр. В. Гриба, 13 – тр. 688.

б.)

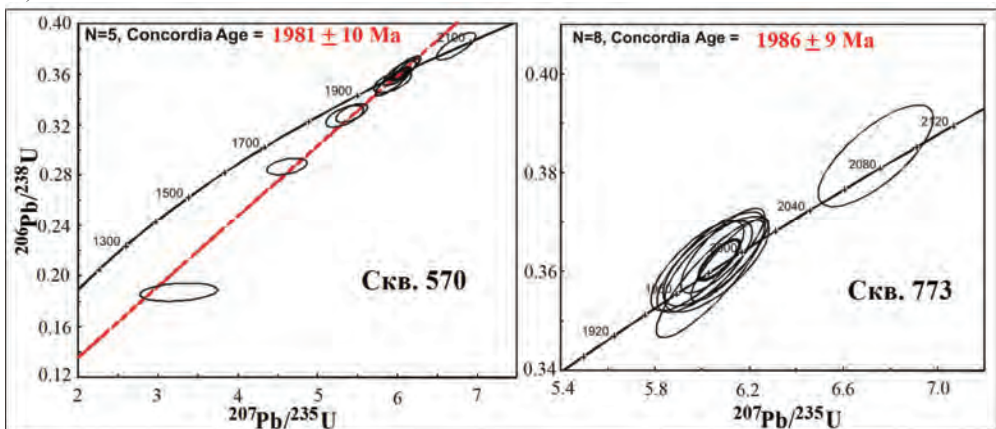


Рис. 6. Sm-Nd изохронная диаграмма для пород кристаллического фундамента ЮВБ (а) и U-Pb конкордия цирконов из гранодиоритов Зимнебережного блока (б) по данным (Samsonov et. al, 2012).

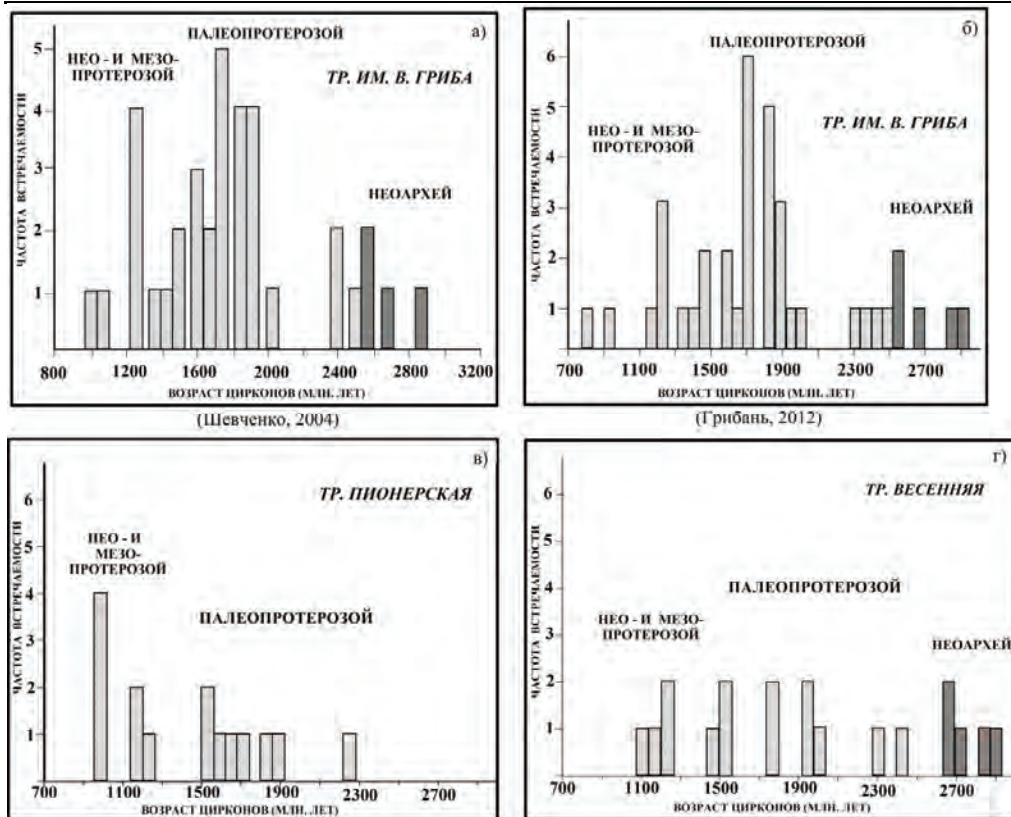


Рис. 7. Гистограммы частоты встречаемости значений U-Pb возраста цирконов из трубок Зимнебережного (а, б, в) и Ненокско-Чидвинского мегакомплексов (г).

Наряду с вышеизложенным материалом, характеризующим приповерхностную часть кристаллического фундамента, значительный интерес представляют результаты Sm-Nd датировок ксенолитов гранулитов из трубок им. В. Гриба и Ан. 688 (Кепинский комплекс), а также U-Pb датирования цирконов из трубок Зимнебережного мегакомплекса (тр. им. В. Гриба и Пионерская) и трубки Весенняя Чидвинско-Ижмозёрского комплекса. По результатам этих работ палеопротерозойские изотопные характеристики получены для ксенолитов нижнекоровых гранулитов из трубок им. В. Гриба и тр. 688 Кепинского комплекса, которые соответствуют островодужным базальтам и адакитам. Среднекоровые гранулиты из трубки им. В. Гриба показывают Sm-Nd изохронный возраст ~2,7 млрд. лет (рис. 6).

По результатам изучения цирконов из кимберлитов трубок установлено, что в Зимнебережном блоке, цирконы с возрастaми 2,6-2,9 млрд. лет составляют, или очень незначительную часть (тр. В. Гриба – 10-15%), или отсутствуют (тр. Пионерская), здесь преобладают (50-60%) зёрна с возрастaми от 1,6 до 1,9 млрд. лет.

Несколько другую картину мы наблюдаем в трубке Весенняя (Северодвинский блок), где количество архейских возрастaов (подвиг гранитоидов Нижнеонежского блока Беломорского подвижного пояса (?)) составляет уже около 20% и 40% характеризуют собой палеопротерозой. При этом, во всех трёх телах присутствует группа цирконов с возрастaом 0,8-1,4 млрд. лет, что, как уже отмечено выше, указывает на проявленные в коре термальные эпизоды гренвильского цикла (рис. 7).

В целом же, полученные результаты изучения цирконов из тр. им. В. Гриба (Грибань, 2012) указывают на то, что кора Зимнебережного блока в позднем

палеопротерозое имела значительную мощность, и ее наиболее глубокие части располагались на уровне гранулитовой фации, что является независимым подтверждением модели, в которой кристаллический фундамент характеризуемой территории рассматривается как коллизионный ороген позднего палеопротерозоя. При этом, увеличенная мощность коры орогена сохранилась на протяжении более полутора млрд. лет, вплоть до девонского времени, когда кимберлиты дренировали кору и подстилающую литосферную мантию, захватывая, и глубокие эклогитовые цирконы, и другие высокобарические минералы, включая алмазы.

Таким образом, Зимнебережный блок, вероятнее всего, представляет собой коллаж тектонических пластин палеопротерозоя и архея, сопоставимых с палеопротерозойскими комплексами Терского и возможно (?) Стрельнинского блоков БЩ. Именно данный блок по данным МТЗ (Поспеева, 2006) характеризуется как высокоомный, что указывает на наличие мощного литосферного кила. Данное предположение находит своё подтверждение в результатах ГСЗ (Егоркин, 2003), согласно которым, наряду с подъёмом верхней мантии, здесь наблюдается аномальное строение земной коры, обусловленное сложным сочетанием блоков мафических гранулитов и гранитоидов, которым присущи различные волновые характеристики.

Мегринско-Соянский блок единичными образцами изучен в скв. 101 Ручьи, которые представлены тектонизированными гранитоидами, гранодиоритами, гранито-гнейсами, которые охарактеризованы Sm-Nd изохронным возрастом около 2–х млрд. лет (рис. 6).

Неоархейский Мезенский блок охарактеризован несколькими образцами гнейсов и гранитов скв. Ценогора, имеющих архейские величины Sm-Nd модельных возрастов 2,9-3,1 млрд. лет (рис. 6) и достаточно схожи с гранитоидами Мурманской провинции БЩ.

2.2 Рифей-ранневендский структурный этаж

Рифейские отложения ЮВБ во второй половине прошлого века вскрыты рядом глубоких скважин (Рис.) в пределах Онежского полуострова (1 Ненокская, 11 Солозеро) и на Зимнем Берегу Белого моря (770 Чидвия, 772 Верхняя Кепина, 1000 Тучкино, 1000/1 Белая, 1200 Падун, 776 Илос, 774 Золотица). Кроме этого, в северо-западной части Мезенской синеклизы мощный разрез осадков данного возраста детально изучен в структурно-параметрической скважине 21 Средне-Няфтинская (Апლოнов, 2006). Рифейские толщи составляют основание осадочного чехла, выполняя грабенообразные прогибы (впадины), которые контролируются, главным образом, структурообразующими сбросами (сбросо-надвигами) северо-западного направления и в меньшей степени – секущими северо-восточными сдвигами. Мощности отложений варьируют от первых сотен метров на поднятиях до 2-8 км во впадинах и прогибах. Анализ фациального состава и имеющиеся данные по возрасту выделенных стратиграфических подразделений рифейского комплекса, а также особенности структурного плана, позволяют выделить в пределах региона две резко различные структурно-фациальные области (СФО) (Третьяченко, 2008, 2009) (рис. 8):

- область внешней зоны дифференцированных опусканий Притиманского перикратона линейно-мозаичного строения;
- линейную систему прогибов и поднятий Кандалакшско-Двинской рифтогенной зоны, приуроченной к Северодвинскому блоку фундамента.

Показанные таким образом структурно-формационные области, в целом соответствуют Беломорской СФО и Кольско-Двинской системе рифтогенных структур Ю.М. Эринчека (1995). В принятой нами схеме районирования, выделенный ранее А.Ф. Станковским Зимнегорский авлакоген, как западная ветвь Лешуконско-Сафоновской системы прогибов, распадается на две части, принадлежащие Кандалакшско-Двинской

ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ МИНЕРАГЕНИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ АРХАНГЕЛЬСКОЙ КИМБЕРЛИТ-ПИКРИТОВОЙ ОБЛАСТИ

рифтогенной зоне (Керецкий прогиб) и СФО внешней зоны Притиманского перикратона (Товский выступ и Чубальский прогиб).

В пределах области внешней зоны Притиманского перикратона, по данным сейсморазведочных работ (ОГТ, КМПВ) глубокого бурения, с привлечением материалов по анализу гравимагнитных полей, выделяется серия сложно построенных положительных и отрицательных структур, главными из которых являются системы грабенообразных прогибов и поднятий Зимнебережно-Полтинской зоны краевых дислокаций (ЗКД) и Кулойско-Лешуконской зоны (рис. 8).

В строении данной СФО принимают участие снизу-вверх (рис. 9): вашкинская толща среднего рифея в составе нижней пестроцветной терригенной с аркозами и верхней сероцветной карбонатно-терригенной свит вышезалегающие верхнерифейские – существенно глинистая с аркозовыми песчаниками – пезская и сероцветно-красноцветная кварцевая глинисто-песчаная дорогорская свиты и сероцветная карбонатно-алевро-глинистая сафоновская серия (сероцветная алевро-глинистая тучкинская свита центральной части Зимнебережного района). Завершает разрез красноцветная глинисто-песчаная уфтыюгская свита верхнего рифея – нижнего венда (?). На Терском побережье Кольского полуострова к данной СФО мы относим верхнерифейскую чапомскую свиту, сложенную толщей сероцветных песчаников, алевролитов и аргиллитами.

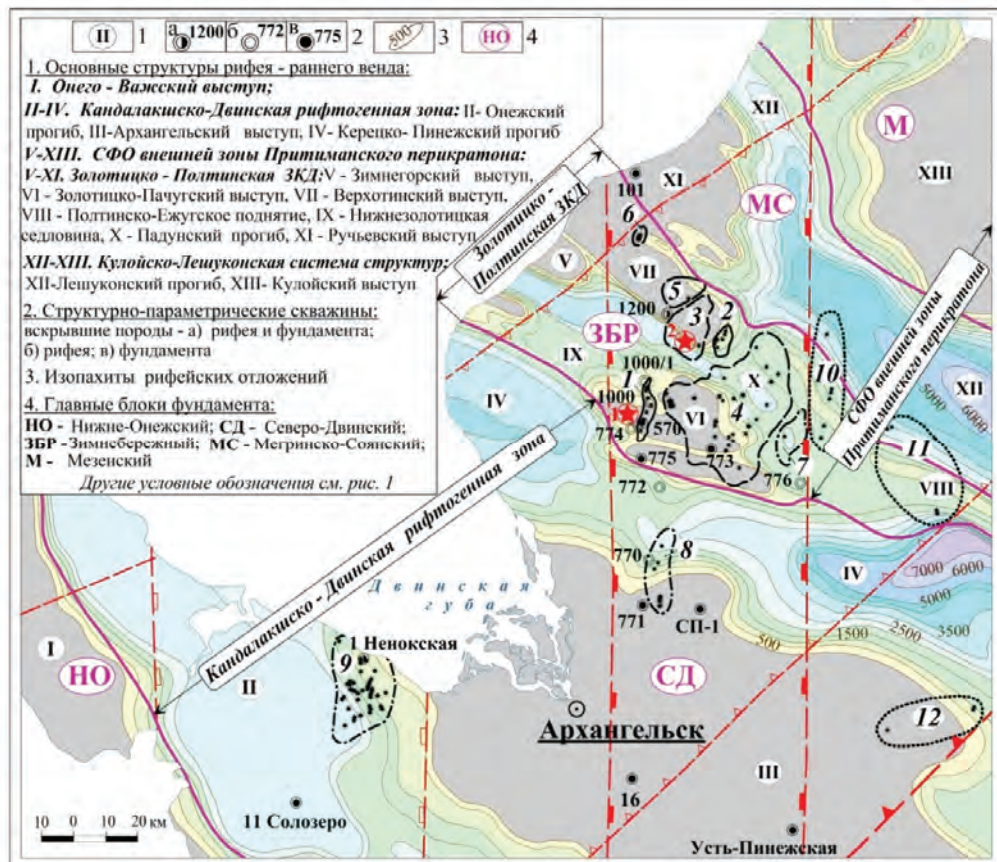


Рис. 8. Схема расположения раннегерцинских комплексов кимберлитов, конвергентных пород и базальтовых трубков взрыва Юго-Восточного Беломорья в структурах рифея – раннего венда.

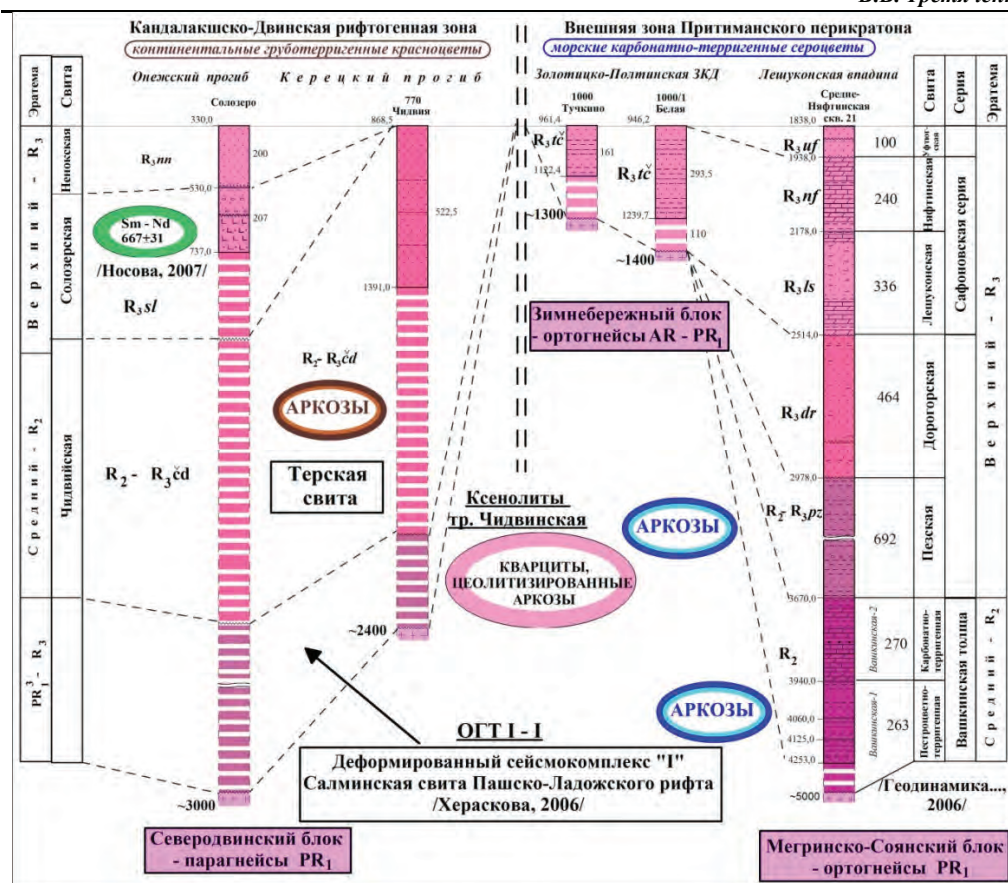


Рис. 9. Схема сопоставления и корреляции разрезов рифея Юго-Восточного Беломорья.

Кандалакшско-Двинская рифтогенная зона (рис. 8) представляет собой линейную систему структур северо-западного простирания, протягивающуюся на расстояние более 700 км вдоль Кандалакшского залива и далее на юго-восток в пределы Мезенской синеклизы, главными из которых являются две ветви грабенообразных прогибов – Кандалакшско-Онежский и Терскобережно-Керецко-Пинежский и разделяющий их Архангельский выступ (его продолжение в северо-западном направлении – Оленицкий вал. В составе рифея здесь выделены: средне-верхнерифейские турьинская и терская свиты Терскобережного прогиба, сложенные красноцветными субграувакковыми и аркозовыми песчаниками с алевролитами; выполняющая Керецкий прогиб чидвийская свита пестроцветно-красноцветных, аркозовых и субаркозовых песчаников (сопоставляется с пезкой и терской свитами); солозерская свита красноцветных аркозовых и субаркозовых песчаников, вулканогенно-осадочных образований и покровов основных эффузивов (по А.А. Носовой (2007), Sm-Nd возраст базальтов 667 ± 31 млн. лет) Онежского прогиба и залегающая на солозерской, ненокская свита красноцветных песчаников (рис. 9).

Особо следует отметить наличие в глубоких частях только Онежского и Пинежского прогибов явно деформированных (в отличие от вышележащих) отложений сейсмостратиграфического комплекса «I», который фиксирует собой начальный этап формирования Кандалакшко-Двинской рифтогенной зоны в конце раннего протерозоя – первой половине раннего рифея (Хераскова, 2006). Подтверждением этого являются

наши данные по наличию в нижних частях Керецкого прогиба цеолитизированных аркозов и красных кварцитов, установленных в виде ксенолитов в трубках Чидвинско-Ижмозёрского комплекса, которые предварительно сопоставляются с уровнями салминской свиты (?) вепся (?) Онежской мульды (Третьяченко, 2008, 2009).

Как следует из вышеизложенного, формирование отложений внешней зоны области Притиманского перикратона происходило, вероятнее всего, в условиях морского мелководья. В отличие от разрезов Притиманского перикратона, для Кандалакшско-Двинской рифтогенной зоны весьма характерными являются груботерригенные типы разрезов, формирование которых происходило в условиях потоковых (аллювиальных) фаций рифтовых долин на фоне высокой тектонической активности, которая сопровождалась базальтовым вулканизмом, что является характерной особенностью краевой зоны пассивной континентальной окраины. К этому следует добавить, что основной вулканизм в пределах Онежского прогиба (в отличие от Притиманского перикратона) проявился также в начале позднего венда – Войозерский базальтовый комплекс.

Следует отметить также, что отчётливо выраженная северо-западная ориентировка рифейских структур региона в целом, формирование которых происходило в режиме сбросовых, надвиго-сбросовых и сдвиговых – pull-art напряжений; существенным образом усложняется системами сдвигов и сдвиго-надвигов Балтийско-Мезенской (Архангельской) и Зимнебережной зон тектоно-магматических активизаций. Тектонические нарушения данных зон и особенно Архангельской и Зимнебережной, не только меняют общий структурный план, в их пределах происходит также существенное уменьшение мощностей рифейских отложений (рис. 8).

Приведённые выше основные отличия Кандалакшско-Двинской рифтогенной зоны и внешней зоны области Притиманского перикратона, на наш взгляд объясняются, главным образом, определённой степенью унаследованности специфики геодинамических режимов, различных сегментов Лапландско-Кольско-Двинского орогена. В пользу этого свидетельствуют также данные Т.Н. Херасковой (2006) о том, что современная структура авлакогенов на севере Восточно-Европейской платформы формировалась под влиянием различных геодинамических факторов, возникших при формировании континентальной окраины и генетически связанные с импульсами рифтогенеза, затем спрединга в окраинном бассейне, при этом в юго-западной части преобладали рифтовые структуры локального растяжения, тогда как на востоке – рифтоподобные.

2.3 Нижнепалеозойский этап

Имеющиеся на сегодняшний день материалы по истории тектогенеза ЮВБ, свидетельствуют о том, что период денудации, наступивший после завершения поздневендской трансгрессии, просуществовал сравнительно недолго и очередная морская трансгрессия наступила уже в конце позднего кембрия и продолжалась по ранний силур. Свидетельством этого являются фаунистически охарактеризованные терригенно-карбонатные отложения верхнего кембрия – нижнего силура (Саблуков, 1995; Ларченко, 2005; Толмачёва, Алексеев, 2008; Третьяченко, 2008), которые установлены в больших и очень больших (до 50-90% объёма верхних частей трубок) количествах, в виде разноразмерных ксенолитов и огромных «рифов» в наиболее ранних по возрасту (410-390 млн. лет) трубках Кепинского и Мегорского комплексов. В несколько более поздних (387-375 млн. лет – Чидвинская группа, тр. Суксома, Сояна-Пинежские базальтовые трубки и некоторые Ненокские трубки) – выявлены не столь многочисленные, но постоянно встречающиеся ксенолиты только песчано-алевро-глинистых пород верхнего кембрия – нижнего ордовика. Максимальная установленная мощность субгоризонтально слоистых отложений огромного «рифа» трубки 496 Кепинского комплекса достигает 150 м, а с учётом того, что в данном разрезе вскрыты

не все разновидности пород, встреченных в остальных трубках, первоначальную мощность всей толщи верхнекембрийско – нижнесилурийских отложений на начало девона, можно оценить в 200-250 м (возможно и больше). Изученные отложения представлены, главным образом, мелководно-морскими и лагунными карбонатными и сульфатно-карбонатными фациями нижнего – верхнего ордовика (возможно нижнего силура) и, в меньшей мере, терригенными прибрежно-морскими отложениями верхнего кембрия – нижнего ордовика, которые весьма сходны с одновозрастными разрезами центральных районов Московской синеклизы и возможно Тимано-Печорской провинции (Толмачёва, Алексеев, 2008). На этом основании можно с достаточной долей уверенности предположить, что нижнепалеозойская область морской седиментации не ограничивалась Московской синеклизой и, через Сухонскую (Велико-Устюгскую) седловину, продолжалась также в центральные районы Мезенской синеклизы и Юго-Восточное Беломорье, вероятнее всего она имела выход в Баренцевоморский регион и Тимано-Печору (рис. 10), что в целом соответствует выводу о максимально высоком уровне моря для Балтийского палеобассейна в среднеордовикское время [Третьяченко, 2008].

2.4 Раннегерцинский этап фиксирует собой очередной подъём территории с преобладанием процессов денудации и связан с эпохой раннегерцинской тектономагматической активизации, которая чрезвычайно интенсивно проявилась в пределах всего северо-запада Восточно-Европейской платформы. Именно на этот период приходится коренная перестройка палеотектонического плана северо-западной части Мезенской синеклизы и формирование региональной структуры первого порядка – девонско-раннекаменноугольного инверсионного Кольско-Кулойско-Вычегодского валообразного поднятия (рис. 11), что, в конечном счёте, в условиях развития весьма зрелых кор выветривания, привело к полному размытию нижнепалеозойских толщ, а также верхней части вендского цоколя. При этом весьма важно отметить в значительной степени унаследованный характер данной крупной региональной структуры относительно таковых кристаллического фундамента и рифея – верхнего венда, что имело решающее значение для проявленности раннегерцинского вулканизма ЮВБ, а также Кольского региона.

Исходя из вышеизложенного, положение раннегерцинских вулканических комплексов ЮВБ в структурах фундамента определяется их приуроченностью к зонам ТМА северо-восточного и субмеридионального направлений, а в их пределах к палеопротерозойскому Лапландско-Кольско-Двинскому орогену. При этом алмазоносный пикрит-кимберлитовый Зимнебережный район контролируется Зимнебережным блоком, который предположительно представляет собой коллаж тектонических пластин палеопротерозоя и архея, что является очевидным исключением из «правила Клиффорда», а вулканические комплексы не алмазоносного Архангельского района располагаются в пределах Северодвинского блока, который является аналогом Умбинского блока БЩ. При этом увеличенная мощность коры палеопротерозойского орогена сохранялась на протяжении более полутора млрд. лет, вплоть до фамен-ранневизейского времени, когда алмазоносные кимберлиты дренировали эту утолщенную кору и подстилающую литосферную мантию.

В структурах рифей-ранневендского авлакогенного этапа, тектоническую позицию Зимнебережного и Ненокско-Чидвинского мегакомплексов определяет их приуроченность, соответственно к Золотицко-Полтинской ЗКД внешней области Притиманского перикратона и Кандалакшско-Двинской рифтогенной зоне. Установленная в нашем случае закономерность, является ещё одним доказательством того, что алмазоносные кимберлиты не могут располагаться в пределах рифтовых зон.

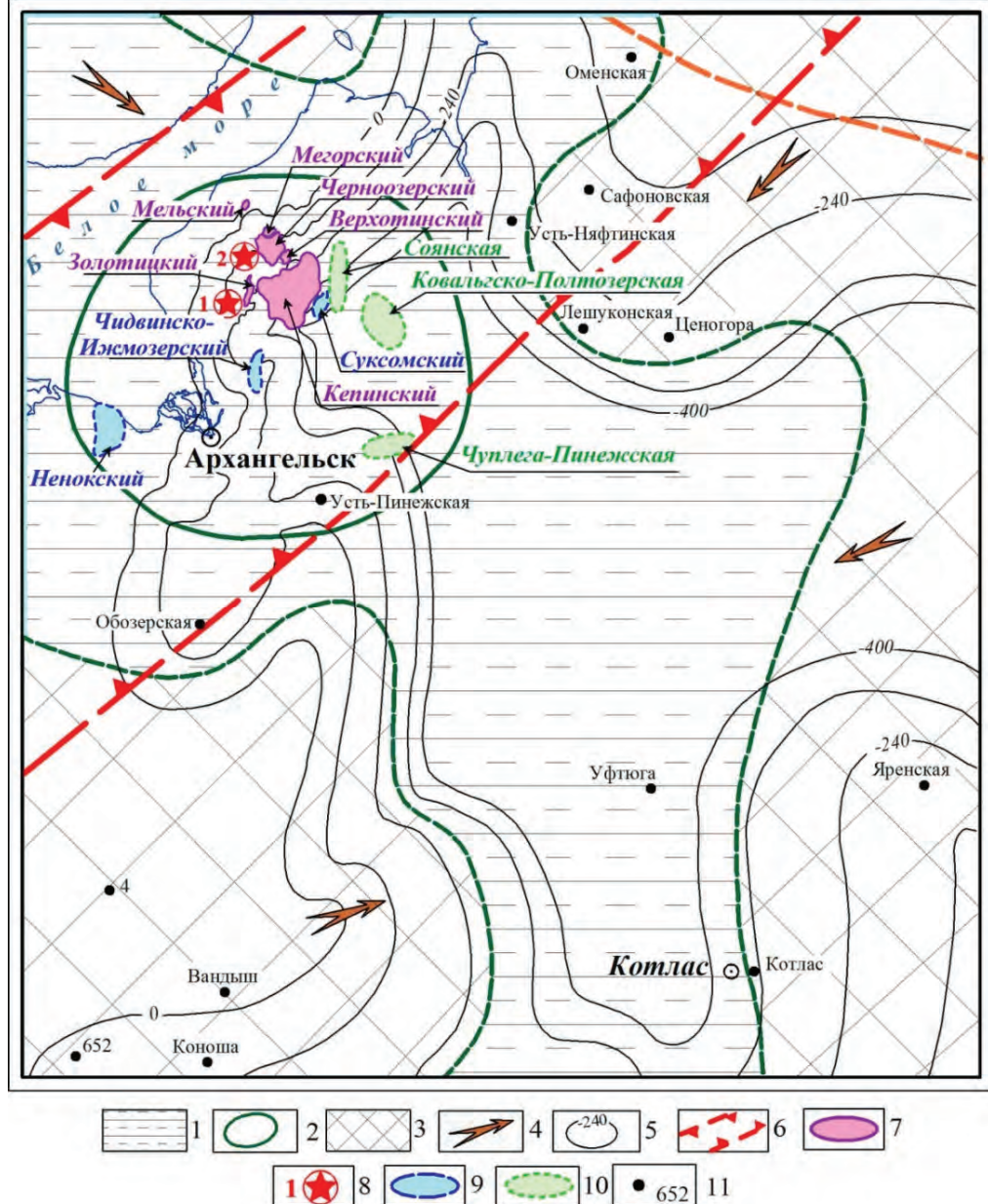


Рис. 10. Палеогеографическая схема северо-запада Русской плиты для позднего кембрия – раннего силура.

1, 2 – Области формирования мелководных морских осадков: 1 – предполагаемые; 2 – установленные; 3 – Области денудации; 4 – Направление сноса обломочного материала; 5 – Палеоизогипсы подошвы падуновской свиты; 6 – Ильменско-Мезенская зона ТМА; 7 – Зимнебережный кимберлит-пикритовый комплекс; 8 – Месторождения алмазов: 1 – им. М.В. Ломоносова, 2 – им. В. Гриба; 9 – Ненокско-Чидвинский мегакомплекс пикритов – оливиновых меллититов; 10 – Группы трубок Соина-Пинежского базальтового комплекса; 11 – Глубокие скважины, вскрывшие подошву падуновской свиты, их номера (названия).

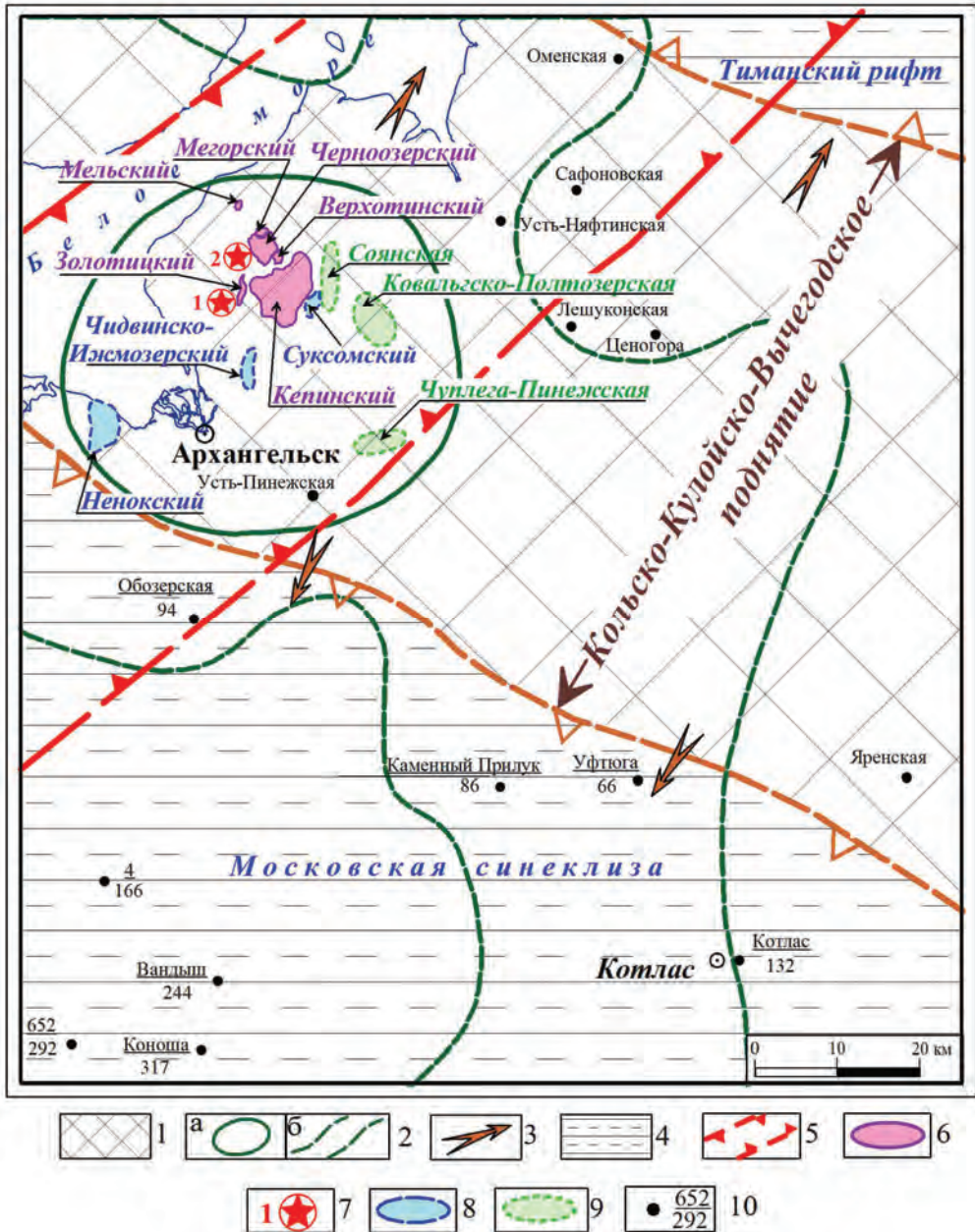


Рис. 11. Палеогеографическая схема северо-запада Русской плиты для раннегерцинского этапа развития.

1 - Кольско-Кулойско-Вычегодское поднятие; 2 - Области формирования мелководных морских осадков: а - установленные, б - предполагаемые; 3 - Основные направления сноса; 4 - Области преимущественных опусканий (морские фации) - Московская синеклиза, Тиманский рифт; 5 - Ильменско-Мезенская зона ТМА; 7 - Зимнебережный кимберлит-пикритовый комплекс; 7 - Месторождения алмазов: 1 - им. М.В. Ломоносова, 2 - им. В. Гриба; 8 - Ненокско-Чидвинский мегакомплекс пикритов - оливиновых мелилититов; 9 - Группы трубков Сояна-Пинежского базальтового комплекса; 10 - Глубокие скважины, вскрывшие полную мощность девонско-раннекаменноугольных отложений: в числителе - их номера (названия), в знаменателе - мощность отложений.

В структурах раннегерцинского этапа тектогенеза все вулканические комплексы ЮВБ контролируются валообразным Кольско-Кулойско-Вычегодским поднятием, при этом алмазоносные кимберлиты располагаются в осевой его зоне, которая унаследовала палеопротерозойский Зимнебережный блок и Золотицко-Полтинскую ЗКД рифея – раннего венда (унаследование региональных структур сжатия); в то время как не алмазоносные тяготеют к юго-западному присклоновому флангу, что также является подтверждением того, что фанерозойские алмазоносные кимберлиты приурочены к валообразным участкам земной коры, которые при всех прочих условиях на протяжении длительного периода развивались в режиме устойчивого поднятия.

Минерагеническое районирование

Основываясь на принципах и методах решения задач минерагенического районирования на алмазы, блок земной коры, в пределах которого установлены щелочно-ультраосновные вулканы Зимнего Берега и Онежского полуострова, определен в ранге Архангельской кимберлит-пикритовой области (области щелочно-ультраосновного вулканизма), как составной части Кольско-Двинской субпровинции. Последняя, в свою очередь, рассматривается в составе Восточно-Европейской провинции кимберлитов и карбонатитов (Фролов, 2005), промышленная алмазоносность которой была так гениально предсказана В.А. Милашевым (1974).

Выделение минерагенических единиц второго (район) и третьего (поле) порядков основывается на их соответствии установленным вулканическим формационным таксонам. Исходя из данного посыла, конкретная субформация (мегакомплекс) отвечает таксону ранга кимберлитовый (пикритовый) район, а вулканический комплекс – кимберлитовому (пикритовому) полю. При этом, контуры районов определяются границами выделенных формационно-минерагенических зон относительно основных структур фундамента и рифея.

Таким образом, в качестве основных минерагенических таксонов второго и третьего порядка в составе кимберлитовой области Юго-Восточного Беломорья, выделяются (рис. 12, рис. 13).

Зимнебережный алмазоносный район, включающий в себя промышленно алмазоносные Золотицкое и Черноозёрское (тр. им. В. Гриба) кимберлитовые поля и безрудные Верхотинское, Кепинское, Мегорское (тр.691) и Мельское поля кимберлитов – беспироксеновых щелочных пикритов, тектонический контроль которого определяется приуроченностью к Зимнебережному ортогнейсовому блоку фундамента, Золотицко-Полтинской зоне ЗКД рифея – раннего венда и осевой зоне раннегерцинского Кольско-Кулойско-Вычегодского валообразного поднятия.

Архангельский район фельдшпатоидных пикритов – оливиновых мелилититов, объединяющий Ненокское, Чидвинско-Ижмозёрское и Суксомское поля;

приуроченный к Северодвинскому блоку фундамента, Кандалакшско-Двинской рифтогенной зоне и краевой зоне Кольско-Кулойско-Вычегодского поднятия.

В пределах выделенных минерагенических районов кимберлит-пикритовые поля в соответствии с возрастной зональностью расположены в четырёх формационно-минерагенических зонах – Золотицко-Верхотинской, Кепинской, Мельско-Мегорской и Чидвинско-Суксомской из которых наибольшую значимость имеет Золотицко-Верхотинская, контролирующая Золотицкое (м-е им. М.В. Ломоносова) и Черноозёрское (м-е им. В. Гриба) кимберлитовые поля, балансовые запасы алмазов по которым составляют порядка 300 млн. карат. В пределах Черноозерского поля имеются перспективы открытия новых алмазоносных трубок. При этом, границы полей в целом ряде случаев соответствуют контурам характерных морфоструктур палеорельефа кимберлитовмещающего цоколя, которые вероятнее всего, являются аналогами

структурно-денудационных выступов палеорельефа отдельных полей (групп трубок) Далдыно-Алакитского района (рис. 13) ЯАП (Никулин, 2001).

Заключение

Выделенные в составе щёлко-ультраосновной формации ЮВБ в качестве самостоятельных таксонов две субформации (мегакомплексы) – кимберлитов – беспироксеновых щелочных пикритов и фельдшпатоидных пикритов – оливиновых мелилититов и, входящие в их состав вулканические комплексы, достаточно отчётливо выражены рядом индикационных признаков петрологического плана, что наряду с особенностями их геотектонической позиции позволяет использовать их в качестве основополагающих факторов (критериев) при решении основных аспектов минерагенического (формационно-минерагенического) районирования.

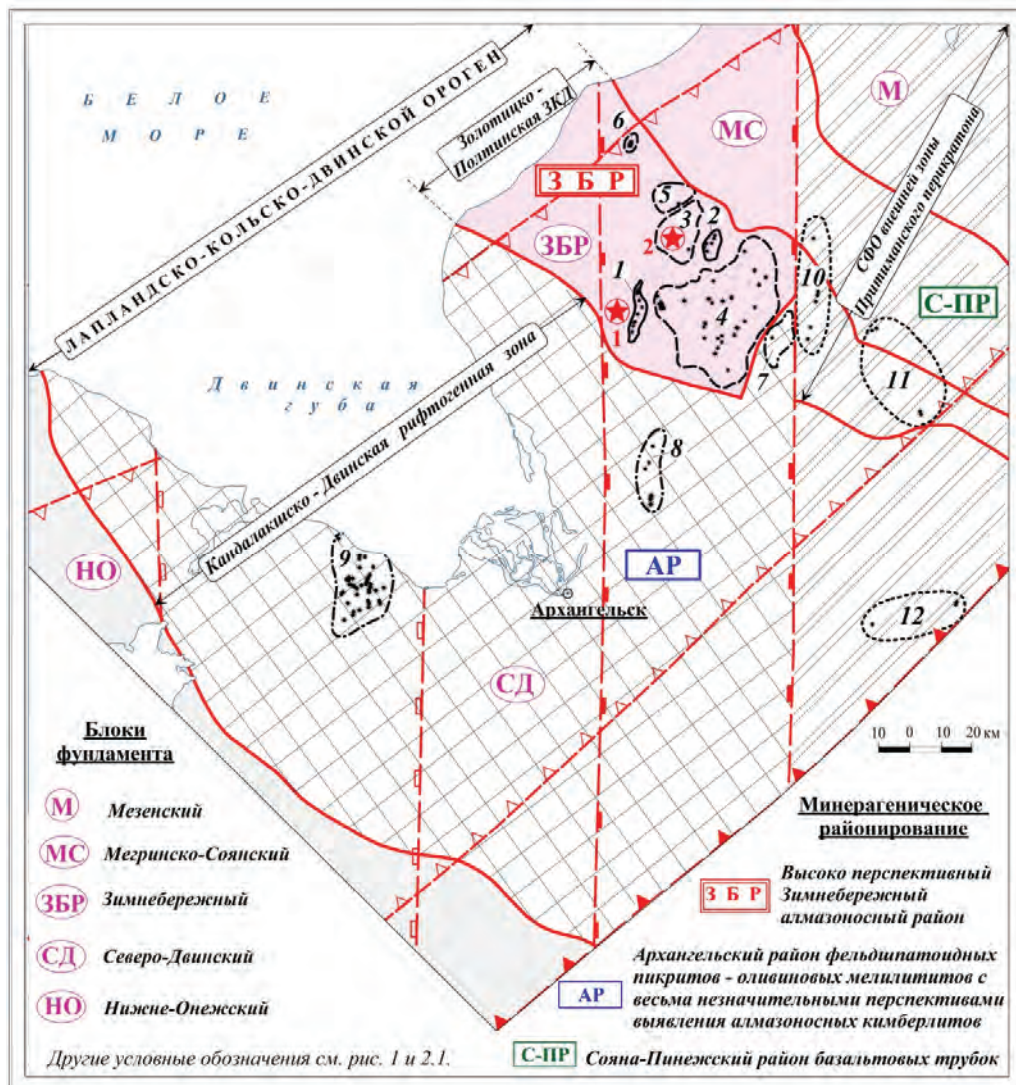


Рис. 12. Схема минерагенического районирования на алмазы Архангельской кимберлит-пикритовой области.

ОСНОВНЫЕ АСПЕКТЫ МИНЕРАГЕНИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ АРХАНГЕЛЬСКОЙ КИМБЕРЛИТ-ПИКРИТОВОЙ ОБЛАСТИ

Комплексное использование данных главных аспектов минерагенического районирования, является решающим фактором выделения в пределах Архангельской кимберлит-пикритовой области двух минерагенических (формационно-минерагенических) районов – высоко перспективного алмазоносного Зимнебережного и бесперспективного Архангельского. Вне вышеуказанной области выделяется Сояна-Пинежский район базальтовых трубок.

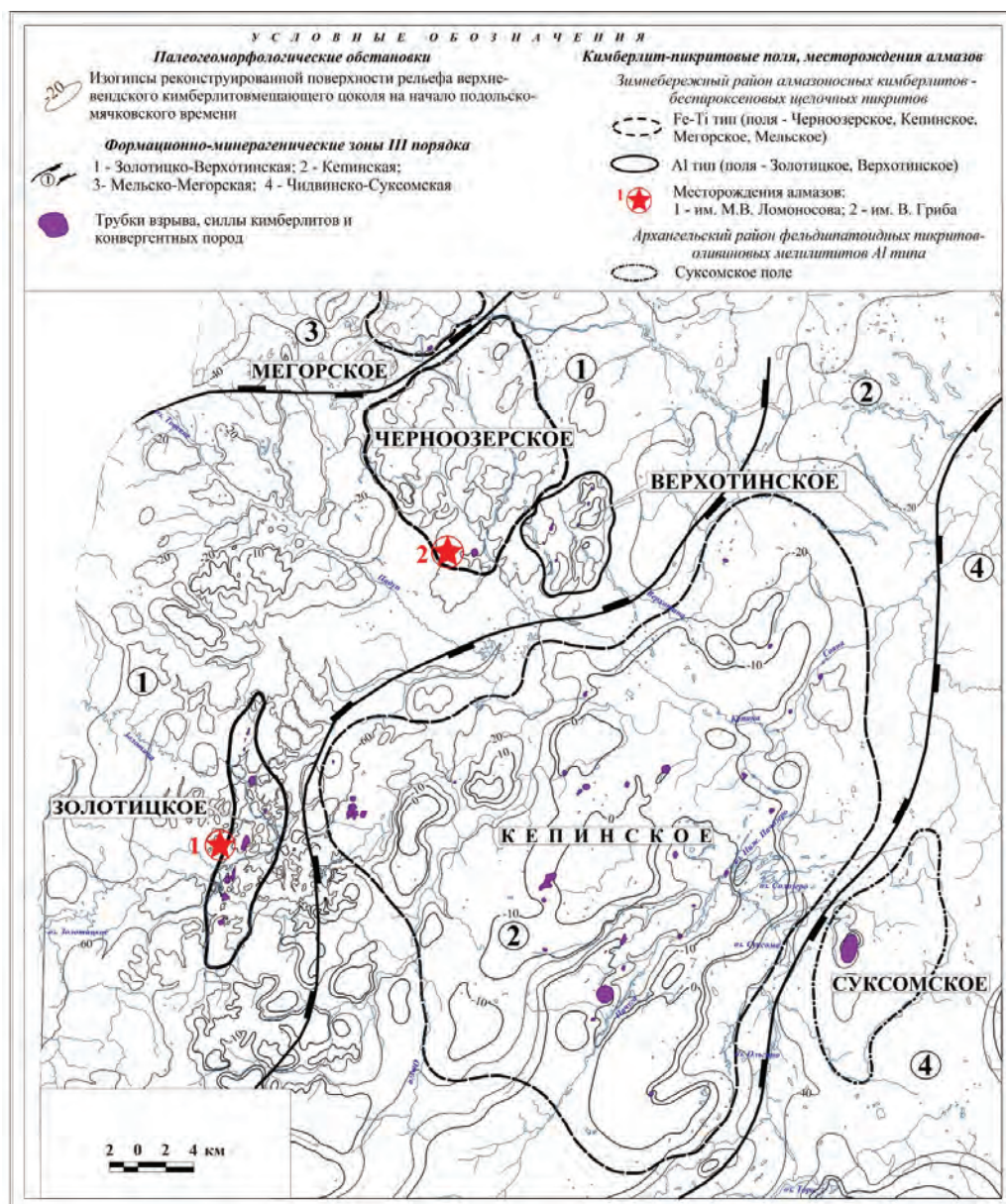


Рис. 13. Схема минерагенического районирования центральной части Зимнебережного алмазоносного района.

Литература

1. Архангельская алмазоносная провинция (геология, петрография, геохимия и минералогия). Под ред. Богатикова О.А. – М., МГУ, 1999 – 524с.
2. Аплонов С.В. и др. Геодинамика и возможная нефтегазоносность Мезенского осадочного бассейна. – СПб, Наука, 2006. – 319 с.
3. Богатиков О.А. и др. Кимберлиты и лампроиты Восточно-Европейской платформы: петрология, геохимия. Петрология, 2007, № 4, т.15. С. 339–360.
4. Веричев Е.М. Геологические условия образования и разведка месторождения алмазов им. В. Гриба. Е.М. Автореферат дис. канд. г-м н., М, МГУ, 2002. 44 с.
5. Гаранин К.В. Щелочные ультраосновные магматиты Зимнего берега (Архангельская алмазоносная провинция): геология, генезис, алмазоносность, поиск и перспективы освоения. М., МГУ, 2006. 371 с.
6. Гаранин В.К., Бовкун А.В., Гаранин К.В. и др. Микрокристаллические оксиды из кимберлитов России. М., ГЕОС, 2009, 498 с.
7. Грибань Ю.Г., Самсонов А.В. и др. Ксенокристовые цирконы из кимберлитов трубки им. В. Гриба как источник информации о строении раннедокембрийского фундамента Архангельской алмазоносной провинции. Тезисы II научной молодежной школы–конференции «Новое в познании процессов рудообразования» М.: ИГЕМ РАН. 2012. С. 65–68.
8. Дукардт Ю.А., Борис Е.И. Авлакогенез и кимберлитовый магматизм. Воронежский ГУ, 2000. – 161 с.
9. Зинчук Н.Н., Савко А.Д., Шевырев Л.Т. Тектоника и алмазоносный магматизм. Воронеж: Воронежский государственный университет, 2004. – 282с.
10. Зинчук Н.Н., Дукардт Ю.А., Борис Е.И. Палеотектоническое развитие Сибирской платформы в течение байкальского и каледонского этапов и кимберлитовый магматизм. Геология алмаза – настоящее и будущее. – Воронеж. ГУ, 2005. – С.86–95.
11. Кудрявцева Г.П. и др. Атлас морфогенеза алмаза и минералов–спутников в кимберлитах и родственных породах Архангельской алмазоносной провинции. М., МГУ, 2005. 624 с.
12. Лапин А.В. и др. Кимберлиты и конвергентные породы. М., 2004. 226 с.
13. Ларченко В.А. и др. Возраст магматических пород, рудовмещающей толщи и среднепалеозойских коллекторов Зимнебережного алмазоносного района. Геология алмазов – настоящее и будущее. Воронеж, ГУ, 2005. – С. 322–354.
14. Магматические горные породы. Классификация, номенклатура, петрография. Часть 1. Отв. ред. Гоньшакова В.И., М., Наука, 1983. 368 с.
15. Манаков А.В. Особенности строения литосферы Якутской кимберлитовой провинции. Воронежский ГУ, 1999. – 58с.
16. Милашев В.А. Кимберлитовые провинции. Л., Недра, 1974, 238 с.
17. Никулин В.И. Лелюх М.И. и др. Алмазопрогностика, Якутск: 2001.– 320с.
18. Носова А.А., Ларионова Ю.О. и др. Корреляция неопротерозойского вулканизма Юго-Восточного Беломорья и Запада Урала: новые данные об изотопном возрасте базальтов Солозера (Онежский грабен) // ДАН, 2008, Т. 418, № 6, С. 811–816.
19. Парсаданян К.С. и др. Источники гетерогенного магматизма Архангельской алмазоносной провинции. Петрология, 1996, № 5, т. 4. С. 496–517.
20. Прусакова Н.А. Геолого–геофизическая прогнозно–поисковая модель Зимнебережного кимберлитового поля. Автореф. дис. канд. г-м. наук. Москва, 2004.
21. Саблуков С.М. О возрасте трубок взрыва ультраосновных пород. Труды ЦНИГРИ, вып. 218, 1987. – С. 24–27.

22. Саблуков С.М. Вулканизм Зимнего Берега и петрологические критерии алмазоносности кимберлитов. Автореф. дис. канд. г.–м. наук. М.: 1995. – С. 24.
23. Саблуков С.М., Саблукова Л.И., Шавырина М.В. Мантийные ксенолиты из кимберлитовых месторождений округлых алмазов Зимнебережного района, Архангельская алмазоносная провинция. Петрология, 2000, том 8, № 5. С. 518 – 548.
24. Саблуков С.М., Саблукова Л.И. Реконструкция строения мантийного субстрата Зимнебережного алмазоносного района по особенностям мантийных ксенолитов и вещественному составу пород. Региональная геология и металлогения. С–П, ВСЕГЕИ, 2005, № 26. С. 94 – 102.
25. Саблуков С.М., Саблукова Л.И., Гриффин В.Л. Распределение редких элементов в глубинных минералах кимберлитов как признак плюмовых процессов на севере Русской платформы. Труды IX межд. семинара. Глубинный магматизм, его источники и плюмы. Миасс, Инст. географии СО РАН, 2009. С. 135–170.
26. Саблуков С.М., Саблукова Л.И. и др. Магматизм Накынского кимберлитового поля и геодинамика Сибирского кратона. Фундаментальные проблемы геологии месторождений полезных ископаемых и металлогении. Труды XXI Международной научной конференции, посвящённой 100–летию со дня рождения академика Владимира Ивановича Смирнова. Москва, МГУ, 2010, Том 2. С. 227–251.
27. Самсонов А.В., Носова А.А., Третьяченко В.В. и др. Коллизионные швы в раннедокембрийской коре как фактор локализации алмазоносных кимберлитов (север Восточно-Европейского кратона). ДАН, 2009, Т. 424, № 6. С. 796–801.
28. Соболев В.К. Проблема коренных источников округлых алмазов. Геология и полезные ископаемые Севера Европ. части СССР. Архангельск, 1991. – С. 68–100.
29. Третьяченко В.В. и др. Геология и вещественный состав раннегерцинских базальтовых трубок Юго–Восточного Беломорья. Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо–Востока России. Материалы XIV Геологического съезда Республики Коми, 13–16 апреля 2004г. – Сыктывкар, 2004. – С. 141–143.
30. Третьяченко В.В. Минерагеническое районирование кимберлитовой области Юго–Восточного Беломорья. Автореферат дис. канд. г.–м. н., Москва, 2008. – 28 с.
31. Третьяченко В.В., Раскатова М.Г., Орлова О.А. Эпохи раннегерцинского щёлочно–ультраосновного и базальтового вулканизма Юго–Восточного Беломорья. Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо–Востока России. (Материалы XV Геологического съезда Республики Коми), Сыктывкар, 2009. С. 333–338.
32. Третьяченко В.В. Тектоническая позиция раннегерцинских вулканических комплексов Юго–Восточного Беломорья в системе структур рифея – раннего венда. Геология и минеральные ресурсы Европейского С–В России. (Материалы XV Геологического съезда Республики Коми), Сыктывкар, 2009. С. 328–332.
33. Третьяченко В.В., Бовкун А.В., Гаранин К.В. Формационные особенности раннегерцинских щёлочно–ультраосновных и основных вулканических комплексов и критерии алмазоносности кимберлитов Юго–Восточного Беломорья. Сборник публикаций по результатам III и IV ежегодных научных чтений имени Г.П. Кудрявцевой. Москва, 2010. С.219–252.
34. Фролов А.А., Лапин А.В., Толстов А.В. и др. Кимберлиты и карбонатиты (взаимоотношения, минерагения, прогноз). НИА–Природа. М., 2005. – 540 с.
35. Хераскова Т.Н., Сапожников Р.Б., и др. Геодинамика и история развития севера Восточно–Европейской платформы в позднем докембрии по данным регионального сейсмического профилирования. Геотектоника, 2006, № 6 7 – с.33–50.

36. Цыганко В.С. Девон Тиманской гряды: основные черты строения и ресурсный потенциал. Проблемы геологии и минералогии, Сыктывкар, 2006. С 365–384.
37. Samsonov A.V., Tretyachenko V.V., Nosova A.A., Larionova Yu.O., Lepekhina E.N., Larionov A.N., Ipatieva I.S. Sutures in the Early Precambrian Crust as a Factor Responsible for Localization of Diamondiferous Kimberlites in the Northern East European Platform // Long Abstract for the 10th International Kimberlite Conference. Bangalore: India. 2012. (10IKC35).
38. Samsonov A.V., Griban J.G., Larionova Yu.O., Nosova A.A., Tretyachenko V.V., Lepekhina E.N., Larionov A.N. Evolution of deep crustal roots of the Arkhangelsk Diamondiferous Province: Evidences from crustal xenoliths and xenocrysts from Devonian kimberlite pipes // Mineralogical Magazine. 2013. **77(5)**. P. 2122.
39. Tretyachenko V.V., Bovkun A.V., Garanin K.V., Garanin V.K., Tretyachenko N.G. Formation features of the early–hercynic alkaline–ultrabasic and basic volcanic complexes and diamondiferous criteria of the kimberlites from Zimny Bereg area (north–west of Archangelsk region, Russia) // Proceeding of the Xth International Kimberlite Conference, Bangalor. India. 2012. 4 p.
40. Tretyachenko V.V., Garanin V.K., Bovkun A.V., Garanin K.V. // Alkaline Magmatism of the Earth and Related Strategic Metal Deposits. Proceedings of XXXII International Conference edit by L.N. Kogarko. GEOKHI RAS Moscow. Apatity 2015. P. 133–135.

С.А. Пыжьянов
МИРНИНСКАЯ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ АК
«АЛРОСА» (ПАО)

Мирнинская геологоразведочная экспедиция, внесшая значительный вклад в становление алмазодобывающей промышленности, была организована 1 марта 1978 года. За период первого этапа своей деятельности (1978-1994 гг.) коллективом экспедиции была завершена доразведка кимберлитовой трубки «имени XXIII съезда КПСС» (1979), выполнена переоценка трубок: «Таежная», «Якутская», «Дальняя», «Зарница» (1980), открыта, разведана и передана в эксплуатацию россыпь «Геофизическая» (1983). В 1985 году - завершена детальная разведка трубки «Зарница» с утверждением запасов в ГКЗ СССР, утверждение в ЦКЗ МЦМ СССР запасов по трубке «Таежная». В 1986 году выполнен эксперимент по обратной закачке рассолов трубки «Удачная» в режиме свободного налива и нагнетания. Начаты работы по оценке емкостных свойств криолитозоны Октябрьского разлома. Завершена разведка россыпи «Новинка». В 1987 году открыта трубка «Алтайская» - практически немагнитное кимберлитовое тело, по результатам опробования отнесенное к рудопроявлению. В 1989 году завершены работы по подготовке полигона ОПУ для обратной закачки дренажных вод и рассолов карьера «Мир», в 1992 году завершена детальная разведка второй очереди хвостохранилища фабрики № 3, начата промышленная закачка дренажных вод карьера «Мир» (1993). Вот лишь немногие вехи производственной деятельности Мирнинской ГРЭ в этот период. 18 июня 1994 года на основании приказа по Компании № 274 произошла реорганизация Мирнинской ГРЭ путем слияния ее подразделений с Амакинской и Ботуобинской экспедициями.

Через 10 лет – приказом № 338 от 16 декабря 2004 года, подписанным президентом АК «АЛРОСА» Калитиным В.Т., вновь с 1 января 2005 года создана Мирнинская геологоразведочная экспедиция. Целью создания экспедиции послужило повышение эффективности эксплуатационной разведки, инженерно-геологических исследований, разведки месторождений строительных материалов и иных видов геологоразведочных работ, связанных с геологическим сопровождением эксплуатационных работ на месторождениях алмазов АК «АЛРОСА» (ПАО) (далее – Компания).

Цели, задачи и виды деятельности Мирнинской ГРЭ

Основной целью деятельности Экспедиции является развитие и укрепление минерально-сырьевой базы Компании.

Для достижения поставленной цели Экспедиция решает следующие задачи:

1. Планомерное и комплексное геологическое изучение недр, включающее:
 - - оценку и разведку месторождений алмазов и общераспространенных полезных ископаемых, а также поиски, оценку и разведку подземных вод и гидроминерального сырья;
 - - весь комплекс эксплуатационно-разведочных работ на эксплуатируемых месторождениях Компании (рис. 1);
 - - тематические, лабораторные (рис. 2), гидрогеологические (рис. 3), геоэкологические и инженерно-геологические исследования площадей и месторождений;
 - - другие виды специализированных геологоразведочных работ на территории Республики Саха (Якутия).
2. Поиск и разведка полезных ископаемых, оказание услуг геологического характера на территории других субъектов Российской Федерации по заданиям Компании.



Рис. 1. Эксплуатационная разведка месторождения «Трубка Комсомольская».

Основные результаты производственной деятельности Мирнинской ГРЭ АК «АЛРОСА» (ПАО) за 2005-2017 гг.

За период второго этапа своей деятельности коллективом экспедиции выполнены следующие значимые для АК «АЛРОСА» (ПАО) задачи:

2005 год - выполнен подсчет запасов алмазов на хвостохранилище фабрики № 5 Мирнинского ГОКа. В результате выполненных работ разведаны и утверждены в ТКЗ РС (Я) запасы алмазов по промышленной категории C_1 и C_2 . Запасы разведанной площади в классе +1 мм составили: по категории C_1 – 1590,0 тыс. карат, по категории C_2 – 1046,7 тыс. карат.

2006 год – совместно с институтом «Якутнипроалмаз» выполнены ТЭО эксплуатационных кондиций с подсчетом запасов алмазов по месторождению – кимберлитовая трубка «Зарница» между горизонтами $+421,7/-+330/м$.

2007 год - совместно с институтом «Якутнипроалмаз» выполнены ТЭО эксплуатационных кондиций с подсчетом запасов алмазов по месторождению – кимберлитовая трубка «Юбилейная». Эта работа позволила производить отработку бедных по содержанию руд кратерной фации месторождения селективным способом. Эксплуатационные кондиции утверждены в ГКЗ РФ и распространены на эксплуатационные блоки 2В, 3В и 6В.

Освоено новое для экспедиции направление в производственной деятельности – бурение скважин различного назначения из подземных выработок рудника «Интернациональный».

2008 год – по результатам разведочных работ проведенных на месторождениях Накынского кимберлитового поля произведен подсчет запасов алмазов коренных месторождений кимберлитовых трубок Нюрбинская, Ботуобинская и совмещенных с ними одноименных россыпей для открытой отработки. Запасы утверждены в 2009 году (Протокол ГКЗ № 1934 от 29.05.2009 г.).



Рис. 2. Проведение лабораторных работ.



Рис. 3. Гидрогеологические наблюдения.

2009 год - в ТКЗ «Якутскнедра», с учетом новых данных разведки 2003-2008гг., утверждены балансовые запасы алмазоносной кимберлитовой трубки «Интернациональная» для подземной добычи в авторском варианте в абсолютных отметках (-560)-(-690)м по промышленной категории C_1 – 14 107 тыс. карат, в абсолютных отметках (-690)-(-820)м по промышленной категории C_2 – 12 303,6 тыс. карат.

2010 год - в ГКЗ МПР РФ пересчет запасов алмазов по трубке «Юбилейная» утвержден в авторском варианте (протокол ГКЗ №2374-дсп, от 22.12.2010 г). Это позволило списать образовавшееся в течение 2006-2008 годов не подтверждение запасов алмазов по кратерной части месторождения, возникшее в результате необъективного подсчета запасов по результатам разведочных работ 1978-2001гг, не учитывающих

сложное строение месторождения и необходимость селективной отработки убогих руд кратерной части.

В Якутском филиалом ФГУ ГКЗ утверждены (протокол №177) «Геологические материалы к ТЭО о целесообразности отработки руд тр. «Комсомольская» не имеющих балансовой принадлежности и изъятых из недр в 2002 – 2009гг.». В результате произведенной работы на обогатительной фабрике № 8 Айхальского ГОКа осуществляется обогащение порфировых кимберлитов, находящихся до этого на спецскладах карьера «Комсомольский».

2011 год – по итогам разведки проведенной в 2009-2010 гг. ТКЗ Якутнедра принят оперативный подсчет балансовых запасов в блоке VIIС₂ россыпи Нюрбинская в объеме: – «песков» – 396,5 тыс. м³, алмазов – 352, 7 тыс. карат с правом включения в план отработки 2011г. (протокол № 195).

В ФБУ «ГКЗ» Роснедра утвержден «Отчет о результатах работ по поиску и оценке структур для обратной закачки вод рудника «Айхал» (протокол № 2664). Утвержден перспективный участок «Ноябрьский» для закачки дренажных вод рудника «Айхал»

Подготовлен отчет о результатах работ по поискам структур для закачки дренажных вод карьеров трубок «Нюрбинская» и «Ботуобинская» с рекомендацией перспективного участка «Ботуобинский для закачки дренажных вод, который утвержден ФБУ «ГКЗ» (протокол № 2685).

2012 год - завершены работы по объекту «Левобережный». Оценена приемистость скважин в интервале зоны ММП на площади исследований. Дана оценка емкости полигона, выполнен прогноз изменения гидродинамического режима подземных вод по полигону захоронения и водопритоков для рудника «Удачный» при различных режимах закачки рассолов (рис. 4). Свободная расчётная емкость на уч. Левобережный составляет порядка 11-13 млн. м³, что в достаточной мере обеспечивает возможность обратной закачки рассолов с дебитами от 270 до 350 м³/час в течение 4-5,5 лет. Составлен отчёт по выполненным работам 2011-2012 гг., который прошел экспертизу в ФБУ ГКЗ, протокол №3025 от 18 января 2013. Выполненные исследования явились обоснованием для строительства участка закачки «Левобережный». В настоящее время выполняется закачка дренажных вод рудника «Удачный» в опытно-промышленном режиме.

Произведён пересчёт запасов алмазов месторождения «Горное» на 01.01.2012 г по новым кондициям. Составлен отчет с подсчетом запасов по месторождению «Горное» и направлен на государственную экспертизу в ФБУ ГКЗ г. Москва. Запасы по новым кондициям по состоянию на 01.01.2012 г. для условий комбинированной отработки песков и алмазов месторождения «Горное» утверждены. Протокол ГКЗ Роснедра № 2921 от 05.12.2012 г.

2013 год - составлен и направлен на экспертизу в ФБУ «ГКЗ» «Отчет с подсчетом запасов по месторождению алмазов россыпь Ирелях». В результате пересчета запасы алмазов увеличились на 1,2 млн. карат. (Протокол ГКЗ № 3489-дсп от 31.01.2014 г.).

Начаты работы по разведке глубоких горизонтов трубки «Интернациональная» ниже абсолютной отметки -790 м.

2014 год – начаты работы по доразведке глубоких горизонтов трубки «Айхал».

Выполнены поисково-оценочные работы по выявлению перспективных участков для закачки дренажных вод карьера Юбилейный. Протоколом ФБУ «ГКЗ» № 3831 утвержден участок «Заречный» для строительства и опытно-промышленной эксплуатации полигона для закачки дренажных вод карьера Юбилейный.

2015 год – начаты работы по разведке глубоких горизонтов трубки «Интернациональная» ниже глубины 1450 м (абс. отметка -1050 м).

В ФБУ «ГКЗ» Роснедра защищены «ТЭО постоянных разведочных кондиций для подсчета запасов алмазов трубки Зарница» и «Отчет с подсчетом запасов алмазов коренного месторождения трубки Зарница до глубины 200 м (горизонт +220 м), по

состоянию на 01.01.2015 г.». Запасы по блоку IC_1 утверждены в авторском варианте, с разделением их на балансовые (29,68 млн. т руды, 7 510 тыс. карат алмазов) и забалансовые (29,93 млн. т руды, 2 874 тыс. карат алмазов).

В ФБУ «ГКЗ» Роснедра утверждены постоянные разведочные кондиции, разработанные институтом «Якутнипроалмаз» и подсчитанные по ним Мирнинской ГРЭ запасы алмазоносных кимберлитовых месторождений трубок Ботуобинская и Нюрбинская до конечной глубины разведки и совмещенных с ними россыпей. Прирост запасов по всем месторождениям в целом составил 19,2 млн. карат алмазов.

Составлен отчет по комплексному анализу работы системы обратной закачки дренажных вод карьера «Мир» за период 1990-2014 гг. В работе выполнен анализ динамики фильтрационного потока под влиянием водоотлива из карьера Мир и обратной закачки дренажных вод на участке система обратной закачки шахтных и дренажных вод (СОЗ) рудника «Мир». Проведен анализ изменений гидрохимического режима поверхностных и подземных вод; приведена характеристика дренажных рассолов с моделированием процессов солеобразования при охлаждении и смешении закачиваемых рассолов; отражены изменения гидрохимического и термодинамического состояния накопителя дренажных вод, а также температурный режим пород по разрезу и его изменения во времени. Приведена обобщённая схематизация гидрогеологических условий. Выполнена корректировка постоянно действующей гидродинамической модели на основе опыта эксплуатации системы «сухой» консервации карьера и участка закачки дренажных вод; дан прогноз изменения гидродинамического режима подземных вод и водопритоков к системе «сухой» консервации карьера при различных режимах закачки дренажных рассолов и рекомендации по режиму работы системы обратной закачки. Выполнена схематизация природных условий района для построения расчетной схемы и постановки задач геофильтрации методами моделирования. Дана оценка перспектив дальнейшей эксплуатации системы обратной закачки, разработана постоянно действующая модель, выполнен прогноз изменения гидродинамического режима подземных вод и водопритоков для рудника «Мир» при различных режимах закачки рассолов.



Рис. 4. Бурение скважины из подземной выработки рудника «Удачный».

2016 год – завершена доразведка глубоких горизонтов трубки «Айхал». Отчет с подсчетом запасов и ТЭО разведочных кондиций прошли государственную экспертизу в ФБУ «ГКЗ». Прирост запасов по месторождению трубка «Айхал» при плане 26,7 млн. карат составил 33,7 млн. карат (протокол ГКЗ № 4909 от 28.12.2016 г.).

Составлен отчет по оценке участка закачки «Ноябрьский» за период 2012-2016 гг. с результатами криогидрогеологических, геологических, геофизических исследований, проведенных на участке закачки дренажных вод рудника «Айхал» в процессе его опытно-промышленной эксплуатации. Дана оценка емкости участка, выполнен прогноз изменения гидродинамического режима подземных вод по участку закачки и водопритоков для рудника «Айхал». По заключению ФБУ ГКЗ (Протокол №4897 от 22.12.2016г) разрешена опытно-промышленная эксплуатация участка Ноябрьский в течение 5 лет на базе 6 закачных скважин при суммарном расходе закачки до 430 м³/сутки в режиме свободного налива.

2017 год – в I квартале завершились работы по разведке глубоких горизонтов кимберлитовой трубки «Интернациональная» в интервале глубин 1190-1450 м. В ФБУ «ГКЗ» защищены отчет с подсчетом запасов и ТЭО кондиций. Прирост запасов по категории С₁+С₂ составляет 10,52 млн. карат. По рекомендациям экспертизы ГКЗ запасы в интервале глубин 1450 – 1650 м (абс. отм. -1050 - -1250м) защищены совместно с запасами по объекту Глубокий-3. Прирост составляет руды 890,7 тыс. т., алмазов – 2,98 млн. карат. Общий прирост запасов до глубины 1650 м составил 13,5 млн. карат (Протокол ГКЗ № 4995 от 31.03.2017г.).

Завершены камеральные работы по составлению ТЭО постоянных разведочных кондиций и отчета с подсчетом запасов алмазов глубоких горизонтов трубки Юбилейная до горизонта -680 м по состоянию на 01.01.2016 г. Отчет с подсчетом запасов и ТЭО разведочных кондиций прошли государственную экспертизу в ФБУ «ГКЗ». Прирост запасов по месторождению трубка «Юбилейная» составил 36,5 млн. карат (протокол ГКЗ № 4979 от 17.03.2017 г.).

Составлен отчет о результатах проведенных работ по опытно-промышленной эксплуатации Ботубинского полигона захоронения высокоминерализованных дренажных вод карьеров трубок Нюрбинская и Ботубинская в 2011-2016 гг. ФБУ «ГКЗ» (протокол № 5019) утвердило проведение промышленной эксплуатации полигона Ботубинский с дебитом закачки до 130 м³/час в режиме свободного налива в течение 25 лет (до 2043г).

Начаты работы по оценке пригодности участка недр «Среднекембрийский» для закачки дренажных вод и промышленных стоков рудника «Удачный» в глубокие среднекембрийский и нижнекембрийский водоносные комплексы.

За период деятельности экспедиции выполнен огромный объем работ по разведке и доразведке месторождений ОПИ (общераспространенных полезных ископаемых). Работы проводятся в четырех районах: Мирнинском, Ленском, Сунтарском и Оленекском (Верхне-Мунское месторождение, рис. 5). В обслуживании экспедиции находится карьеры строительных материалов, расположенные вдоль автомобильных трасс Ленск-Мирный-Удачный, Мирный-Крестях и Мирный-Таас-Юрях, карьеры строительных материалов на Накынском рудном поле, в зоне деятельности Мирнинского, Удачинского и Айхальского ГОКов. За этот период осуществлен ввод новых карьеров с подсчетом запасов и утверждением их в ТКЗ РС (Я). Утвержденные запасы полностью удовлетворяют нужды Компании в строительных материалах.



Рис. 5. Производственная площадка на Верхне-Мунском месторождении.

На сегодня структура Мирнинской экспедиции состоит из двух геологоразведочных партий: Западно-Якутской ГРП – занимающейся эксплуатационно-разведочными, и гидрогеологическими работами по обслуживанию Мирнинского и Нюрбинского горно-обогатительных комбинатов АК «АЛРОСА» и ОАО «АЛРОСА-Нюрба», Полярной ГРП – выполняющей эксплуатационно-разведочные, разведочные и гидрогеологические работы на объектах Айхальского и Удачинского горно-обогатительных комбинатов.

Обработку алмазосодержащих проб выполняет ЛОК Мирнинской экспедиции, состоящий из обогатительных фабрик № 6 (г. Мирный), № 10 (п.г.т. Айхал) и № 17 (п. Накын).

Р.Ф. Салихов, И.Я. Павленко
АМАКИНСКАЯ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ АК
«АЛРОСА» (ПАО)

Структура, целевое назначение и решаемые задачи

Основу структуры Амакинской геологоразведочной экспедиции (АМГРЭ) составляют Айхальская и Удачинская геологоразведочные партии, выполняющие основной объём поисковых, оценочных и разведочных работ, связанных с проходкой горных выработок и скважин. Лёгкие поисковые работы и прогнозно-тематические исследования, геофизические работы (ГИС, наземные и аэросъёмки), топографо-геодезическое обеспечение ГРП, обогащение проб и минералогические исследования производятся специализированными структурными подразделениями экспедиции - Прогнозно-тематической партией, Комплексной геофизической партией, Топографо-геодезической партией, Лабораторно-обоганительным комплексом. Производственно-техническое обеспечение всего комплекса геолого-геофизических исследований обеспечивается подразделением «База производственно-технического обеспечения».

Численность Амакинской ГРЭ на 2017 г. составляет 709 человек. Из них 23% составляет геолого-геофизический персонал, ещё 39% персонала задействовано на основных видах геологоразведочных работ.

- Целевым назначением Амакинской геологоразведочной экспедиции является восполнение минерально-сырьевой базы действующих горнодобывающих предприятий на северной площадке Компании в Республике Саха (Якутия) – Айхальского и Удачинского ГОК-ов. Основными задачами, решаемыми Амакинской геологоразведочной экспедицией, являются:
- проведение комплекса алмазописковых работ, направленных на выявление перспективных площадей и локальных участков с последующей оценкой их прогнозных ресурсов алмазов по категориям P_2 и P_3 ;
- открытие, оценка и разведка новых коренных и россыпных месторождений алмазов;
- дооценка промышленной значимости ранее выявленных проявлений алмазов с целью выявления среди них месторождений алмазов, рентабельных для отработки;
- поиски, оценка и разведка месторождений общераспространённых полезных ископаемых (ОПИ) для обеспечения потребностей действующих Айхальского и Удачинского ГОК-ов и других структурных подразделений Компании в строительных материалах;
- выполнение геофизических, геологических и горнобуровых работ для структурных подразделений АК АЛРОСА (ПАО) и Группы АЛРОСА.
- Решение этих задач позволяет осуществлять прирост запасов алмазного сырья, восполняющего и укрепляющего минерально-сырьевую базу АК «АЛРОСА» (ПАО) в целом.

Результаты деятельности

В историческом аспекте. Амакинская экспедиция - первооткрывательница Якутской алмазодобывающей провинции (ЯАП), заложившей основу алмазодобывающей промышленности СССР. С момента образования 15 января 1947 г. (вначале как Тунгусская, с переименованием 17.03.1949 в Амакинскую экспедицию) геологами Амакинской ГРЭ были открыты почти все основные алмазоносные районы ЯАП, в том числе шесть промышленно алмазоносных – Далдыно-Алакитский, Малоботубинский, Мунский, Средне-Мархинский, Нижне-Оленёкский (Приленский) и Анабарский (рис. 1). За всё время существования экспедиции амакинцами было открыто более 1000 тел

кимберлитов и конвергентных им пород, в том числе более 220 из них – в той или иной степени алмазонасных.

За 70 лет коллективом экспедиции открыт целый ряд коренных месторождений алмазов в ЯАП (кимберлитовые трубки Мир, Удачная, Сытыканская, Айхал, Юбилейная, Комсомольская, Верхне-Мунское месторождение (пять трубок), Дальняя, Заря, резервные месторождения – трубки Краснопресненская, Малокуонамская) и промышленно алмазонасных россыпей (Ирелях, Лог Хабардина, Водораздельные галечники, Эбелях, Молодо, Маят и др.). Многие из этих месторождений являются крупнейшими в мире, эксплуатируются в настоящее время и остаются надёжной ресурсной базой деятельности трёх горнодобывающих предприятий (Мирнинского, Айхальского и Удачинского) на следующие 30-50 лет (до 2069 г.).

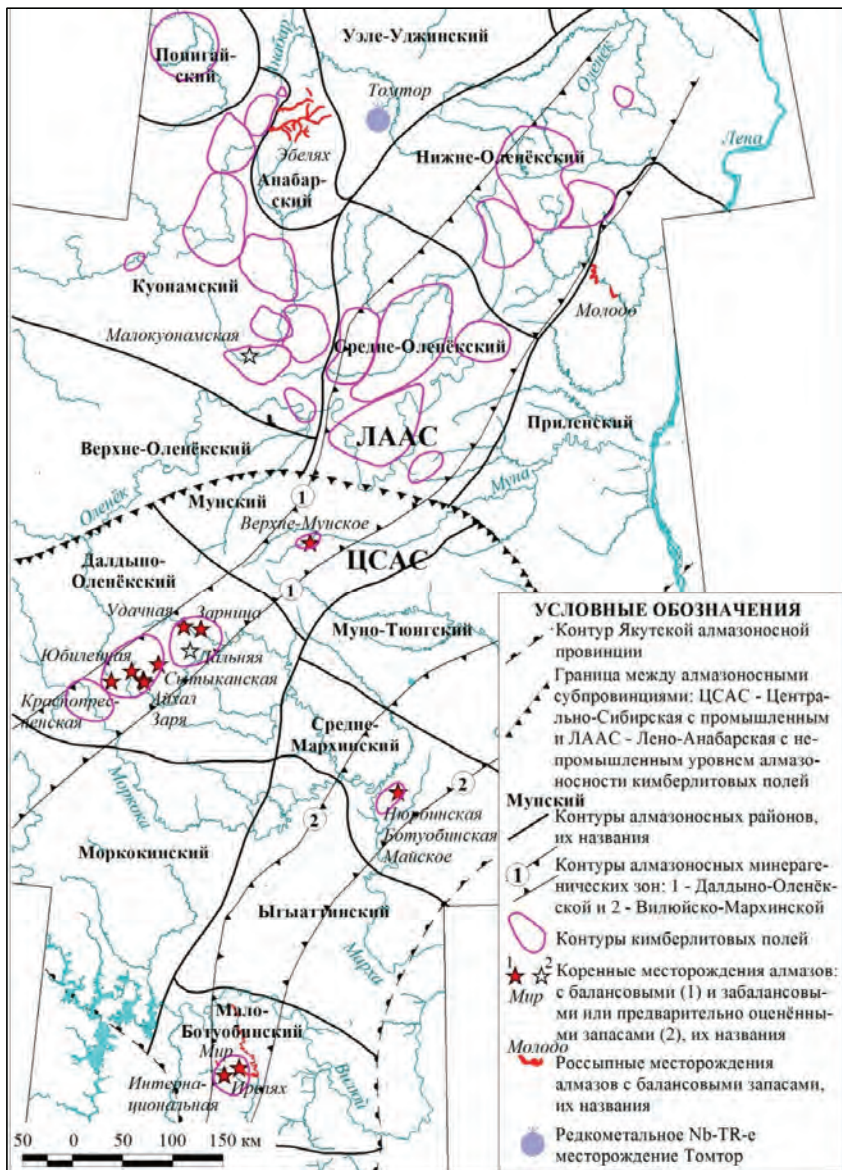


Рис. 1. Схема минерагенического районирования Якутской алмазонасной провинции (по Коробков, Горев, 2010 г.).

Суммарные запасы алмазов промышленных категорий, поставленные на государственный учёт в открытых за 70 лет амакинскими геологами месторождениях алмазов, составляют более 2 миллиардов 200 миллионов карат.

Помимо месторождений алмазов, геологами Амакинской ГРЭ выявлено и разведано редкометальное месторождение Томтор, уникальное по запасам и содержаниям полезных компонентов (Nb, Y, Sc и TR). Разведанные запасы Nb₂O₅ промышленных категорий В+С₁+С₂ месторождения составляют 40%, по сумме оксидов редких земель – порядка 10% к суммарным мировым разведанным запасам. Запасы пентаоксида ниобия только в кондиционных рудах нового геолого-промышленного типа (переотложенные коры выветривания, участок Буранный) превышают 20% от разведанных мировых запасов [2].

В связи с организацией Айхальского и Удачнинского ГОКов, строительством промышленного комплекса, дорог и бытовых сооружений, были развернуты поисково-разведочные работы на строительные материалы с целью обеспечения развивающейся стройиндустрии местным сырьём. В результате проведённых работ были обнаружены, разведаны и поставлены на госбаланс более 35 месторождений долеритов, агломератовых туфов, известняков, песков, песчано-гравийных смесей, полностью обеспечившие потребности в указанных видах сырья.

В 2015 г. Амакинской геологоразведочной экспедицией по результатам проведённых в 2011-2014 гг. разведочных работ на кимберлитовой трубке Дальняя до глубины 400 м (+100 м) защищён в ГКЗ Роснедра МПР РФ отчёт с подсчётом запасов алмазов. Забалансовые запасы алмазов по сумме категорий С₁+С₂ составили 9,71 млн. карат (Протокол ГКЗ № 4260 от 15.07.2015 г.).

В 2011-2015 гг. Амакинской геологоразведочной экспедицией в соответствии с рекомендациями ГКЗ Роснедра МПР России (Протокол ГКЗ № 1341 от 09.02.2007 г.) для изучения гранулометрии алмазов и оценки их стоимости была проведена опытно-промышленная разработка Верхне-Мунского месторождения алмазов, по результатам которой в 2016 г. в ГКЗ Роснедра МПР России был защищён отчёт с подсчётом запасов. На государственный учёт были поставлены 42,7 млн. карат алмазов, в т.ч. балансовые запасы категорий С₁ – 30,6 млн. карат, категории С₂ – 10,2 млн. карат, забалансовые запасы категорий С₁+С₂ – 1,9 млн. карат (Протокол ГКЗ № 4629 от 29.04.2016 г.). Прирост балансовых запасов алмазов категорий С₁+С₂ от ранее принятых на Государственный учёт по результатам разведки 2001-2006 гг. составил 16,1 млн. карат.

Всего по 7 месторождениям за 20 лет с 1997 по 2016 г. прирост запасов алмазов составил 300,3 млн. карат, в т.ч. балансовых запасов промышленных категорий С₁+С₂ – 281,0 млн. карат, забалансовых запасов категорий С₁+С₂ – 19,3 млн. карат.

За этот же период деятельности экспедиции выполнены поисковые, поисково-оценочные и разведочные работы на стройматериалы в зоне деятельности Айхальского, Анабарского и Удачнинского ГОК-ов. Осуществлена доразведка для ранее введённых карьеров и ввод новых карьеров с подсчётом запасов и утверждением их в ТКЗ РС (Я). Утверждённые запасы полностью удовлетворяют нужды Компании в строительных материалах.

По результатам поисковых работ, проведённых Амакинской ГРЭ в период 2000-2017 гг., было выявлено 182 тела кимберлитов и конвергентных им пород в Далдыно-Алакитском, Мунском, Куонамском, Нижне-Оленёском и Уэле-Уджинском алмазоносных районах. В том числе восемнадцать из них были открыты в сложных поисковых обстановках (IV-V геотип) закрытой части Алакит-Мархинского поля Далдыно-Алакитского района, под перекрывающими образованиями большой мощности, прорванных силлами долеритов.



Рис. 2. Разведка трубки Заря наклонно-направленными скважинами.

Геологоразведочные работы на перспективных площадях

Современная Амакинская экспедиция по-прежнему специализируется на поисках и разведке коренных и россыпных месторождений алмазов. По данным Научно-исследовательского института (НИГИ) АК «АЛРОСА» (ПАО), для выявления новых коренных месторождений алмазов наиболее перспективными являются алмазоносные районы, расположенные в Центрально-Сибирской субпровинции (ЦСАС) ЯАП [1]. Здесь на площади деятельности Амакинской ГРЭ пространственно расположены промышленно и потенциально алмазоносные районы Далдыно-Алакитский, Мунский и Ыгыаттинский, в пределах которых в ближайшей и среднесрочной перспективе Амакинская ГРЭ выполняет и планирует дальнейшее продолжение алмазопроисловых, оценочных и разведочных работ (рис. 2).

Основную задачу программы Амакинской ГРЭ по геологическому изучению недр - наращивание минерально-сырьевой базы действующих горнодобывающих предприятий, - планируется решать концентрацией алмазопроисловых и разведочных работ на площадях с высокой степенью перспектив выявления новых месторождений алмазов, вблизи действующей инфраструктуры Айхальского и Удачинского ГОК-ов Далдыно-Алакитском и Мунском районах. В соответствии с решением подсекции экспертизы и апробации прогнозных ресурсов секции геологии Учёного Совета ЦНИГРИ, по состоянию на 01.01.2011 года прогнозные ресурсы коренной алмазоносности категории P_3 в Далдыно-Алакитском алмазоносном районе (их открытие возможно, в основном, в закрытой части Алакит-Мархинского поля) составляют 28,3 млн. карат. По данным экспертной оценки НИГИ (Коробков, 2014 ф) прогнозные ресурсы коренной алмазоносности категории P_3 Алакит-Мархинского кимберлитового поля оцениваются в размере 80,5 млн. карат.

Минерагенический потенциал на алмазы Алакит-Мархинского поля значительно выше данных экспертных оценок. Его можно оценить через площадную продуктивность промышленно алмазоносных кимберлитовых полей – Далдынского и Верхне-Мунского, расположенных, как и Алакит-Мархинское, в Далдыно-Оленёвской алмазоносной минерагенической зоне (рис. 3, таблица 1). Далдынское и Верхне-Мунское кимберлитовые поля располагаются в открытом карбонатном поле, в целом, они хорошо изучены и опроислованы, и ожидать новых крупных открытий в них не приходится.

Обращает на себя внимание, что значения площадной продуктивности Далдынского и Верхне-Мунского полей имеют близкие значения 1,9 и 1,5 млн. кар/км², несмотря на разницу в площади больше чем на порядок. В Мирнинском поле Вилуйско-Мархинской алмазоносной минерагенической зоны площадная продуктивность значительно выше (8,5 млн. кар/км²). Вероятнее всего, для каждой минерагенической зоны площадная продуктивность на алмазы индивидуальна, при близости их значений для кимберлитовых полей внутри одной зоны.

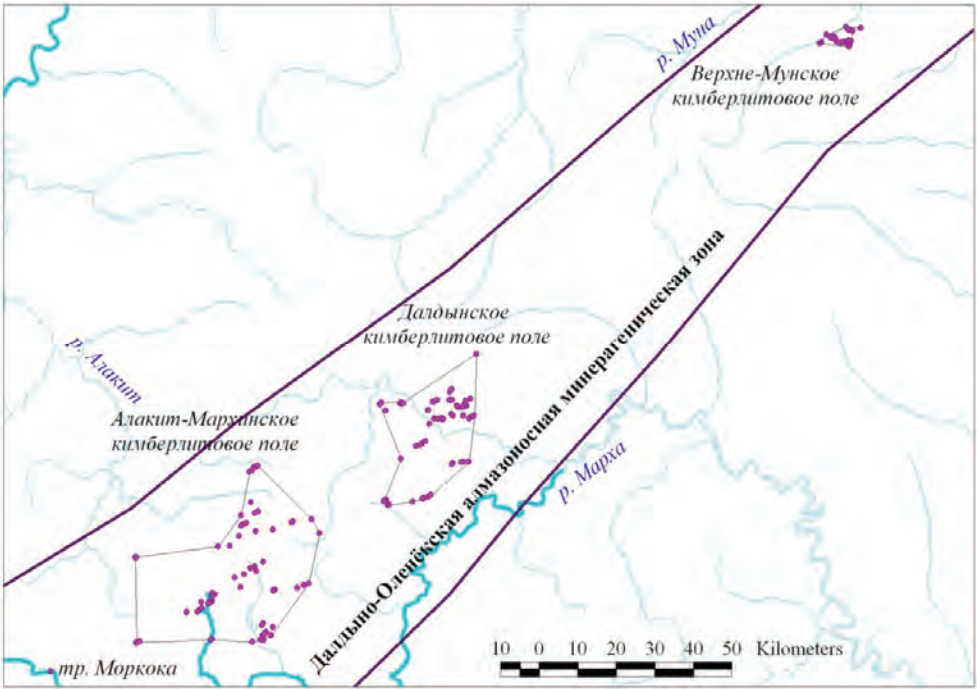


Рис. 3. Фактографические границы промышленно алмазоносных кимберлитовых полей в Далдыно-Оленёвской алмазоносной минерагенической зоне.

Таблица 1. Оценка минерагенического потенциала Алакит-Мархинского кимберлитового поля на основе продуктивности эталонов в открытом карбонатном поле Далдыно-Оленёвской алмазоносной минерагенической зоны.

Минерагенический объект	Запасы, утверждённые в ГКЗ, млн. карат	Площадь в фактографических границах по установленным трубкам, км ²	Продуктивность, млн. кар/км ²	Минерагенический потенциал, млн. кар.	
				Исходный	Остаточный
Далдыно-Оленёвская алмазоносная минерагеническая зона					
Далдынское поле	1142	591	1,9		
Верхне-Мунское поле	43	29	1,5		
Итого, среднее по полям в открытом геотипе			1,7		
Алакит-Мархинское поле	579	1292	0,4	2200	1620
Вилуйско-Мархинская алмазоносная минерагеническая зона					
Мирнинское поле (запасы без россыпей)	672	79,0	8,5		

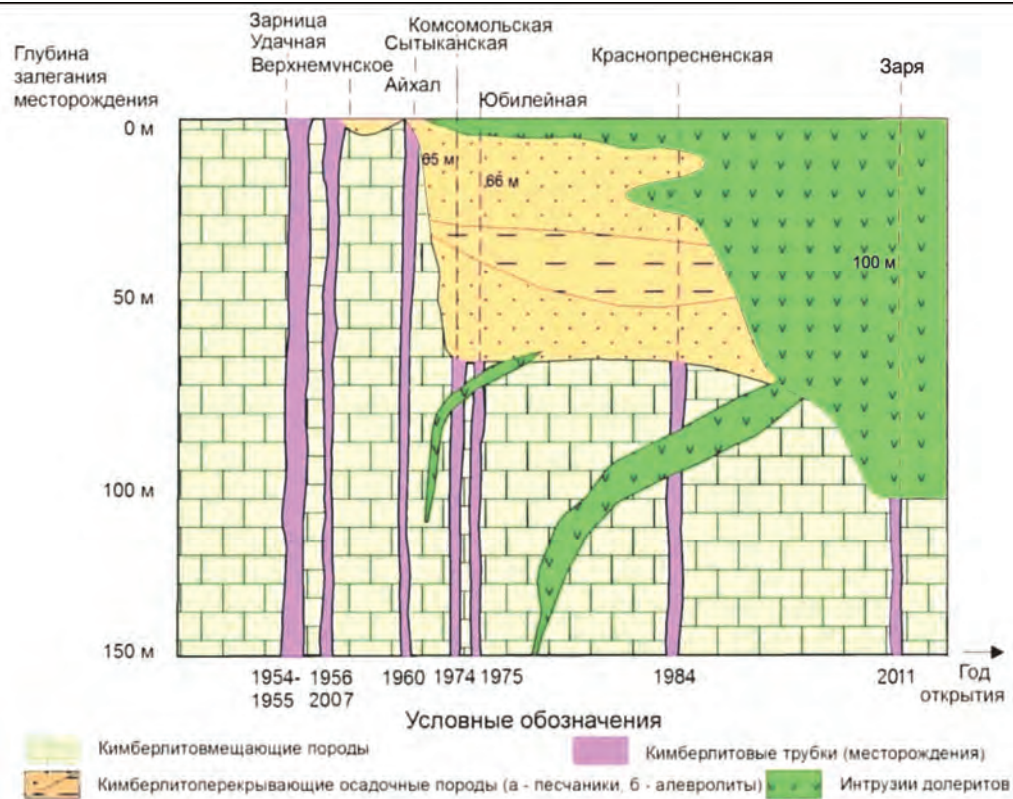


Рис. 4. Изменение геологических условий поисков (по материалам НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО), с изменениями и дополнениями).

Достигнутая площадная продуктивность Алакит-Мархинского поля в $\sim 4 - 5$ раз ниже, чем в «эталонных» полях Далдыно-Оленёкской зоны, всего $0,4$ млн. кар/км². По нашему мнению, это может быть связано с наличием ещё целого ряда неустановленных месторождений алмазов в перекрытой части поля, в т.ч. и крупных. Косвенно о высоком минерагеническом потенциале Алакит-Мархинского поля свидетельствует факт, что содержания пиропов алмазной ассоциации в трубках поля самые высокие среди всех кимберлитовых полей в Якутской алмазоносной провинции, достигая во многих телах, в т. ч. и промышленно алмазоносных (тр. Айхал, тр. Краснопресненская) 20% и более.

Прогнозируемые новые месторождения алмазов перекрыты толщей изверженных и осадочных пород, мощностью 20-150 м (рис. 4). Для выявления в столь сложных горно-геологических условиях Амакинской ГРЭ используется разносторонний комплекс геофизических исследований площадей, буровых и горно-проходческих работ.

В целях обеспечения алмазодобычи в долгосрочной перспективе, планируется выполнение алмазописковых работ региональных стадий на потенциально перспективных площадях, в ранге прогнозируемых кимберлитовых полей и оценки их минерагенического потенциала в западной и северо-западной части Далдыно-Алакитского и Ыгыаттинском алмазоносных районах.

- На этих площадях, в совместных проектах при софинансировании из средств федерального бюджета РФ и с участием государственных институтов, предполагается проведение:

- комплекса региональных геолого-съёмочных, геофизических и гидрогеологических работ (крупно- и среднемасштабное геологическое картографирование, глубинное доизучение площадей ГДП-200, подготовка к изданию государственных геологических карт масштаба 1:200 000 (новая серия) и др.);
- поисковых работ на алмазы, с целью оценки перспективности площадей (мелкомасштабные и среднемасштабные поисковые работы) и, при подтверждении перспектив – поиски месторождений алмазов (крупномасштабные поиски).
- В арсенале комплекса выполняемых Амакинской экспедицией геологоразведочных работ используются как традиционные методы, технологии и техника, так и инновационные, позволяющие производить работы, на современном уровне:
- маршрутные исследования с отбором шлиховых и мелкообъёмных проб, с применением современных транспортных средств (аэролодки, минивездеходы) и оборудования (рис. 5а);
- колонковое бурение вертикальных и наклонных скважин, с широким диапазоном диаметров от 112 мм до 172 мм;
- горнопроходческие работы – проходка шурфов глубиной до 20 м, с применением буро-взрывных работ, отбором и обработка шлиховых и валовых проб;
- обогащение валовых проб на передвижной установке;
- минералогические исследования;
- широкий спектр геофизических работ: комплексная аэрогеофизическая съёмка (рис. 5б), аэромагнитная съёмка, гравиразведка, электроразведка, скважинные геофизические методы исследований, в т.ч. межскважинное радиоволновое просвечивание (метод радиоволновой геоинтроскопии, рис. 6).

а)



б)



Рис. 5. Отбор мелкообъёмной пробы с применением минидраги (а) и комплексная аэрогеофизическая съёмка VTEM+ (магнитный + электроразведочный каналы) (б).

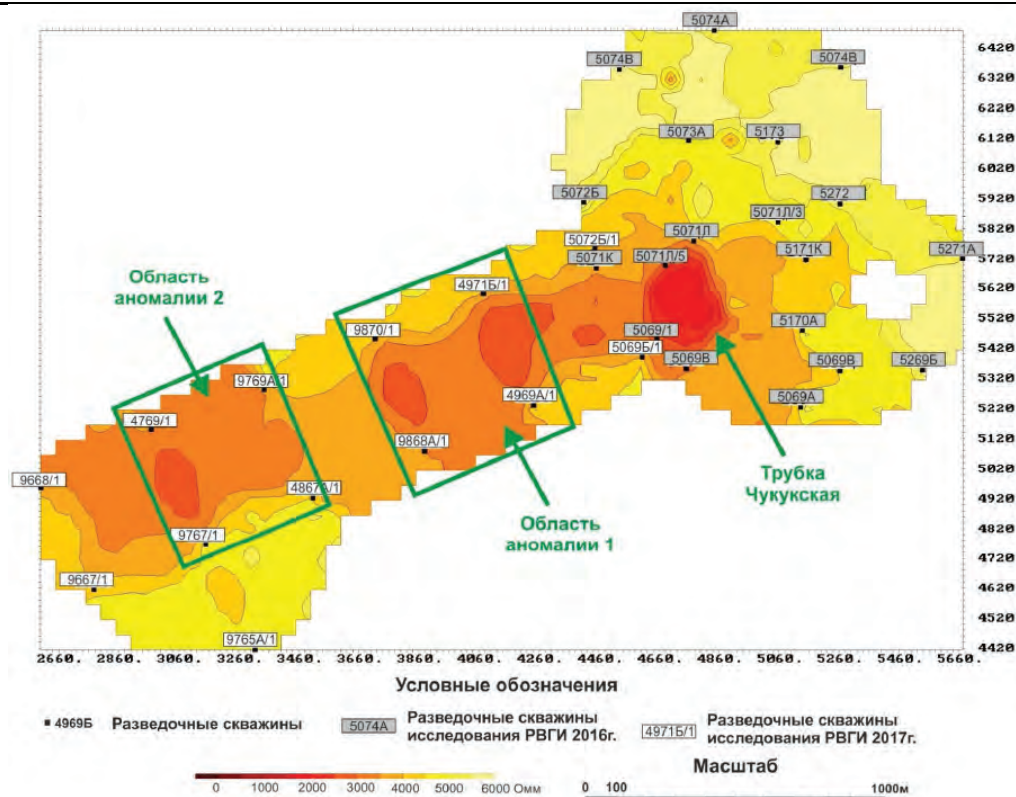


Рис. 6. Фрагмент 3D геоэлектрической карты РВГИ зоны Комсомольского разлома.

Список литературы

1. Герасимчук А.В. Ранжирование территории Якутской алмазоносной провинции по степени перспективности на коренную алмазоносность // Мирный, НИГП, 2015. С. 37
2. Толстов А.В. Закономерности образования и размещения главных рудных формаций севера Сибирской платформы // Авт-т дисс. на соискание учёной степени д.-г.-м.-н. – Якутск, 2015. С. 43

И.И. Шмаков
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЕ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНОЕ
ПРЕДПРИЯТИЕ (НИГП) АК АЛРОСА (ПАО)

История создания

Свою историю Научно-исследовательское геологоразведочное предприятие (НИГП) АК «АЛРОСА» (ПАО), как научное учреждение в алмазной отрасли ведет с 1968 г, когда оно было организовано в виде структурного подразделения Центрального научно-исследовательского геологоразведочного института цветных, редких и благородных металлов (ЦНИГРИ).

Директором-организатором Алмазной лаборатории, руководивший ею до мая 1982 года, был доктор геолого-минералогических наук А.Д. Харьков, известный специалист в области изучения месторождений алмазов, один из разработчиков геолого-генетических основ шлихоминералогического метода поисков алмазных месторождений. Для проведения запланированных исследований по различным вопросам геологии, прогнозирования и методов поисков месторождений алмазов в Алмазную лабораторию ЦНИГРИ были приглашены опытные специалисты как из алмазопромышленных экспедиций Якутии, так и из научно-исследовательских институтов Новосибирска, Ленинграда, Львова и других городов бывшего Советского Союза.

Основными направлениями научно-прикладных исследований лаборатории в 1968-1982 годах, проводимых в содружестве с Амакинской и Ботубинской геологоразведочными экспедициями, научными коллективами институтов СО АН СССР, были: изучение алмазов и их минералов-спутников из месторождений и поисковых площадей в Малоботубинском и Далдыно-Алакитском алмазоносных районах; терригенных алмазоносных толщ и кор выветривания; совершенствование методики детальной разведки и комплекса геофизических методов поисков коренных месторождений алмазов.

С 1982 по 2005 год предприятием руководил доктор геолого-минералогических наук, профессор Н.Н. Зинчук, усилиями которого предприятие было сформировано в его нынешнем виде. За это время резко расширился круг решаемых алмазной геологической наукой задач прогнозно-поисковой, лабораторно-аналитической опытно-методологической направленности. После вхождения в 1992 году в состав ПНО «Якуталмаз» (впоследствии АК АЛРОСА) наряду с алмазной проблематикой успешно выполнены НИР по обеспечению диверсифицированной деятельности компании в плане расширения спектр минерально-сырьевой базы полезных ископаемых (нефть, газ, редкоземельное сырье), сохранен и расширен качественно и количественно научный кадровый потенциал, создана материально-техническая база новых научно-исследовательских исследований.

Структура и основные направления деятельности

Сегодня НИГП - это не имеющая аналогов в сырьевой отрасли страны научная структура геологического профиля, которую можно считать корпоративной. В настоящее время предприятие осуществляет научно-методическое обеспечение геологоразведочных работ, выполняемых АК АЛРОСА на алмазы в Западной Якутии, а так же в различных регионах страны и Мира. В практику работы предприятия вошло сочетание теоретических (тематических) и лабораторно-аналитических исследований с их опытно-методической апробацией в реальных полевых условиях.

С 2005 года НИГП руководит А.В. Герасимчук, кандидат геолого-минералогических наук, заслуженный геолог Республики Саха (Якутия). На предприятии работает 124 человек, из них 96 составляют научно-производственный

персонал. В числе научных работников 3 доктора и 12 кандидатов наук. Средний возраст сотрудников составляет 47 лет.

В число основных научно-прикладных направлений деятельности предприятия также входит: разработка (освоение) и внедрение в геологоразведочное производство современных методических, технических и программных средств обработки и анализа геолого-геофизических данных; внедрение и популяризация разработок теоретического научно-производственного и информационно-справочного характера в виде монографий, методических рекомендаций, сборников статей, докладов, материалов методологического и инструктивно-информационного характера, а так же путем проведения научно-практических совещаний и семинаров.

Свои исследования НИГП проводит в тесном сотрудничестве со многими научно-исследовательскими и геолого-производственными организациями страны. Предприятие неоднократно организовывало (с геологической службой АК «АЛРОСА» (ПАО)) и приводило Всероссийские и региональные научно-практические совещания по различным проблемам алмазной геологии.

Структура предприятия сформирована в соответствии с направлениями научных и методических исследований и состоит из 6 отделов, объединяющих 9 лабораторий и одну опытно-методологическую партию.

Комплексный отдел минералогических исследований

Комплексный отдел минералогических исследований (КОМИ), возглавляемый Богданом Степановичем Помазанским, структурно включает три лаборатории общей численностью 30 сотрудников. В отделе последовательно развиваются направления вещественного блока научных проблем, заложенных в целевом назначении организованной в 1968 году Алмазной лаборатории ЦНИГРИ, включая петрографию и минералогию кимберлитов, алмазы и их минералы спутники, литологию осадочных пород.

Основателями этих направлений в пионерском составе коллектива были А.Д. Харьков, И.И. Илупин, З.В. Осипова, А.И. и Г.А. Пономаренко, Е.Е. Лазько, В.П. Серенко, Н.Н. Зинчук, К.П. Аргунов. Этими исследователями в 70-е годы прошлого века был проведен парагенетический анализ индикаторных минералов кимберлитов, дана их детальная характеристика из осадочных коллекторов различного возраста и определены свойства минералов-спутников для использования при шлиховых поисках месторождений. В тот же период заметно возросла, с учетом требований геологической практики, роль литолого-минералогических исследований. Получило развитие направление по изучению петрографии кимберлитов и ксенолитов мантийных пород из них. Постоянно, хотя и в небольшом объеме ведется изучение физических свойств алмазов. С учетом расширяющейся сферы исследований в настоящее время комплексный отдел минералогических исследований объединяет три лаборатории: алмазов, геологии алмазных месторождений и аналитических исследований. Отдел осуществляет исследования по трем основным направлениям: изучение текстурно-структурных признаков и минерального состава алмазоносных пород; изучение кристаллохимических и структурных особенностей отдельных минералов; изучение элементного состава пород и минералов.

Одной из основных задач также является расширение лабораторно-аналитической базы геологической службы АК «АЛРОСА» (ПАО) путем освоения новых методик и оборудования, увеличение точности и достоверности инструментальных измерений физических, химических характеристик минералов и горных пород, достижением экономической эффективности за счет повышения точности и производительности аналитических определений и разработки прикладных методик их использования (рис. 1). Кроме лабораторных исследований постоянно проводятся

полевые работы с отбором образцов: на эксплуатируемых и разведываемых месторождениях практически круглый год, на участках поисковых работ экспедиций - в летнее время.

Силами сотрудников лаборатории за период 1994-2017 гг. были изучены минералогические особенности около 400 тысяч макро – и микрокристаллов алмазов из коренных и россыпных месторождений и проявлений. В результате исследований накоплен без преувеличения уникальный материал по минералогии алмазов коренных и россыпных проявлений Сибирской платформы (Якутия, Красноярский Край, Иркутская область), дополняющийся сведениями по ряду месторождений и проявлений Урала, Архангельской области, Анголы и Бразилии. Широкое внедрение компьютерной техники позволяет проводить статистическую выборку, обработку и оценку характеристик алмазов геологических объектов различного ранга, от отдельной пробы до алмазоносной провинции в целом. Таким образом, НИГП фактически становится единственным в Якутии центром изучения алмазов с целью прогнозирования алмазных месторождений.

Отдел прогнозирования и поисков месторождений полезных ископаемых

Прогнозированием и оценкой перспектив алмазоносности территорий Якутии НИГП занималось с момента ее организации в качестве Алмазной лаборатории ЦНИГРИ. Однако эти работы носили узко локальный характер. Со временем, с привлечением опытных специалистов из алмазопоисковых экспедиций Якутии и ведущих НИ страны, решаемый круг задач значительно расширился, и на базе этой лаборатории в 1982 году был создан Якутский отдел комплексных исследований алмазных месторождений (ЯОКИ).

Начало этого периода было ознаменовано организацией новых направлений научно-исследовательских работ, резким увеличением объема работ, численностью сотрудников, расширением географии научных исследований, охватывающим практически всю Сибирскую платформу (рис. 2). В составе этого отдела было организовано четыре научно-исследовательских лаборатории, в том числе лаборатория прогнозирования и поисков месторождений алмазов.



Рис. 1. Проведение лабораторных исследований.



Рис. 2. Опробование разновозрастных отложений в бассейне р. Намана.

Новый организационный этап произошел в 1992 году, когда ЯОКИ ЦНИГРИ был реорганизован в якутское научно-исследовательское геологоразведочное предприятие (ЯНИГП) ЦНИГРИ, которое вошло в структуру ПНО «ЯКУНАЛМАЗ» в ранге самостоятельного отдела прогнозирования и поисков алмазных месторождений. С 2002 года и по настоящее время отдел возглавляет кандидат геолого-минералогических наук Антипин Иван Инпинетович.

Задачей отдела является определение направлений ведения геологоразведочных работ и разработки научно обоснованной методик прогнозирования и поисков месторождений алмазоносных пород в особенных ландшафтно-геологических условиях, сочетая в комплексе работы теоретического характера с апробацией результатов НИР в практике геологоразведочных работ АК «АЛРОСА» (ПАО).

В настоящее время в состав отдела входит три лаборатории: геолого-экономического анализа геологоразведочных работ; прогнозной оценки территорий и технологий геологоразведочных работ. Коллектив отдела включает в себя 22 человека.

Основными задачами и направлениями отдела на сегодняшний день и ближайшую перспективу являются: прогнозный мониторинг алмазоперспективных территорий и площадей Сибирской платформы с целью обеспечения перспективного и оперативного планирования геологоразведочных работ АК «АЛРОСА» (ПАО); повышение эффективности алмазопосковок работ путем совершенствования критериев выявления алмазоносных кимберлитов; текущий мониторинг прогнозных ресурсов алмазов на Сибирской платформе; разработка и совершенствование методик и технологий прогнозирования и поисков алмазов в особо сложных геологопоисковых обстановках; научно-методическое сопровождение работ ГРП экспедиций геологоразведочного комплекса АК «АЛРОСА» (ПАО).

Отдел опытно-методических геолого-геофизических исследований

Отдел был создан в 1993 году на базе геофизической лаборатории и опытно-методической партии для консолидации усилий по решению проблемы прогнозирования и поисков алмазных месторождений на основе новых технологий полевых геофизических работ и современных способов обработки и интерпретации получаемых материалов. В настоящее время в отделе работают 22 человека. В состав отдела входят: лаборатория геофизических исследований, лаборатория информационных технологий, лаборатория стандартизации и метрологии геофизических технологий, полевая опытно-методическая геолого-геофизическая партия. Возглавляет отдел кандидат геолого-минералогических наук С.Ф. Бессмертный.

Группа геофизических исследований появилась в Алмазной лаборатории ЦНИГРИ в 1974 году. В состав группы входили Д.И. Саврасов (руководитель), Ю.Д. Молчанов, Н.Н. Романов, В.Г. Французова. Главными направлениями научных работ были: изучение физических характеристик горных пород, разработка типовых комплексов геофизических методов при поисках кимберлитовых трубок в различных геологических условиях, изучение связи структуры гравимагнитных полей с кимберлитоконтролирующими элементами геологического строения, выявление критериев выделения аномалий от кимберлитовых трубок на фоне помех. В 1984 году геофизическая группа была преобразована в лабораторию. В этот период продолжается анализ особенностей структурно-тектонического строения кимберлитовых полей и алмазоносных районов как основа прогнозирования кимберлитов, проводится районирование территорий по ведению поисков геофизическими методами. Обобщаются материалы по строению верхней мантии и земной коры, выделяются региональные геофизические факторы, контролирующие размещение кимберлитовых полей.

Основные направления исследований: определение направлений ведения алмазопроисловых работ и совершенствование методов опроискования перспективных площадей на основе комплексного анализа геолого-геофизических материалов; выяснение условий локализации кимберлитовых полей и кустов кимберлитовых тел на основе проведения опытно-производственных магнитотеллурических зондирований (МТЗ); исследования строения верхней части разреза для определения признаков волнового поля кимберлитовых тел и тектонизированных зон на основе малоглубинной сейсморазведки; изучение распределения градиента поля силы тяжести для поиска кимберлитовых тел в различных геологических условиях; тектонофизические исследования при алмазопроисловых работах.

Полевая опытно-методическая партия была выделена в самостоятельное подразделение в 1993 году. Основные задачи партии в настоящее время являются: разработка типового комплекса методов для изучения перспективных участков; выполнение профильных магнитотеллурических зондирований в разных геологических обстановках для изучения особенностей геоэлектрического разреза земной коры; проведение площадных аудиотеллурических зондирований, с целью изучения участков локализации кимберлитовых трубок по геоэлектрическим параметрам; площадные зондирования становлением поля с закрепленным источником (ПЗС ЗИ) с целью совершенствования методики и поисков кимберлитовых тел; изучение возможностей метода ранних стадий вызванной поляризации при поисках кимберлитовых тел; совершенствование метода радиоволнового просвечивания (РВП) (рис. 3).



Рис. 3. Проведение полевых геофизических исследований.

Лаборатория информационных технологий выделилась в самостоятельное подразделение в 2008 году, хотя ЯНИГП ЦНИГРИ всегда имело в своем составе специалистов в области информационных технологий. В формировании кадров для лаборатории сыграл ведущую роль Мирнинский филиал ЯГУ. Они занимаются разработкой программных продуктов для обеспечения геофизических, петрографических и минералогических исследований.

Лаборатория стандартизации и метрологии геофизических технологий была создана в 2000 г. и является основным звеном метрологической службы геологоразведочного комплекса АК «АЛРОСА» (ПАО). Возглавляет ее на всем протяжении Алексей Семенович Лабазюк. Основные направления исследований: обеспечение единства и требуемой точности измерений, выполняемых при проведении геофизических исследований в геологоразведочных экспедициях Компании; внедрение современных методов и средств измерений, информационно-измерительных систем и комплексов, эталонов, применяемых для калибровки средств измерений; осуществление метрологического контроля путем проведения испытаний входного контроля средств измерений и их периодической калибровки; осуществления метрологического надзора за состоянием и применением средств измерений, методиками выполнения измерений, эталонами единиц величин, применяемых для калибровки средств измерений, соблюдением метрологических правил и норм, нормативных документов по обеспечению единства измерений.

Отделение оценки новых территорий

Отдел оценки продуктивности новых территорий (ООПНТ) был создан в ЯНИГП ЦНИГРИ в марте 2001 года приказом президента АК «АЛРОСА» (ПАО) В.А. Штырова для выполнения комплекса опережающих научно-исследовательских работ с целью последующей оценки перспектив алмазонасности отдельных регионов Европейской части РФ и выдачи рекомендаций для Компании по лицензированию, очередности и методике проведения поисков месторождений алмазов. Первым заведующим отделом

был доктор геолого-минералогических наук В.Т. Подвысоцкий, которого в 2002 году сменил д.г.-м.н. В.Н. Устинов. Затем, задачи отдела были расширены не только на РФ, но и на зарубежные страны. Сейчас отделение состоит из трех отделов: отдел оценки зарубежных территорий; отдел исследований Европейской части России и отдел сопровождения поисковых работ в Африке. Основные силы отделения сосредоточены в г. Санкт-Петербурге, часть сотрудников базируется в г. Архангельске. Общая численность отделения составляет 23 человека.

Основные задачи отдела оценки зарубежных территорий: оценка перспектив алмазонасности территории Анголы с целью выделения площадей, перспективных на выявление новых месторождений алмазов; геологическая оценка ресурсного потенциала новых перспективных территорий в Ботсване, Зимбабве и отдельных месторождений Африки в других регионах путем выполнения тематических и полевых ревизионно-экспертных работ; выработка рекомендаций по организации геологоразведочных (поисковых и поисково-оценочных) работ Компании на перспективных зарубежных площадях и объектах; разработка и/или совершенствование методик поисковых работ применительно к новым для геологической службы Компании горно-геологическим условиям; выработка предложений руководству АК «АЛРОСА» (ПАО) по вовлечению перспективных зарубежных алмазонасных объектов в разработку (оценку, добычу и т.д.) с целью расширения минерально-сырьевой базы Компании за рубежом (рис. 4).

Основные задачи отдела исследований Европейской части России: прогнозная оценка алмазонасности (других видов рудоносности) европейской части РФ и прилегающих регионов (в соответствии с потребностями Компании) и разработка предложений по направлениям геологопоисковых работ, ориентированных на выявление месторождений полезных ископаемых; разработка рекомендаций по выбору и предварительной оценке перспективности площадей и участков и эффективной методики и технологии ведения работ на каждом из объектов ГРП; внедрение научных разработок и рекомендаций, оказание научно-методической помощи и осуществление авторского надзора за внедрением разработок в практику геологоразведочной деятельности Компании в европейской части России.



Рис. 4. Специалисты ООНТ на кимберлитовой трубке Cat-E72 (Ангола).

Основная задача отдела сопровождения поисковых работ в Африке: научно-методическое сопровождение алмазопроисловых работ совместных предприятий, выполняемых с участием АК «АЛРОСА» (ПАО) в Африке на перспективных лицензионных площадях и участках, на основе комплексного анализа геолого-геофизических данных.

Стратегические направления развития НИГП

Алмазопроисловая практика показывает, что эффективность ГРП на территориях со сложным строением пока остается сравнительно низкой, а критерии среднемасштабного и локального прогноза для закрытых площадей, в первую очередь в районах распространения пород трапповой формации разработаны еще в недостаточной мере. Сложные ландшафтно-геологические обстановки, необходимость поисков объектов, мало контрастных по традиционным индикационным параметрам, свидетельствуют о необходимости существенного увеличения наукоемкости всего геологоразведочного процесса на алмазы, опережающего научно-методического обеспечения ГРП и разработки новых высокоэффективных методов и методик их проведения. В качестве возможных направлений развития таких методик можно указать следующие области науки и техники:

- методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). В настоящее время орбитальная группировка пополнилась спутниками «WorldView-3», «WorldView-2», «QuickBird-2», «GeoEye-1», «SPOT6» и «SPOT7», рабочие параметры которых улучшились на один-два порядка. Если у предыдущих спутников было около 7 спектральных каналов, то современные спутники измеряют до 220 спектральных каналов, работающих как в видимом, так и в инфракрасном диапазоне. Привлечение этих данных для линейного анализа тектонического строения территорий, комбинированное со спектральными методами анализа химического строения пород, способны дать дополнительный импульс для прогноза локальной алмазности на уровне кимберлитового куста и возможно, кимберлитовой трубки;

- стремительное развитие технологии беспилотных аппаратов предлагает решения с интегрированной технологией LiDAR (Light Detection and Ranging - выявление света и ранжирование), которые имеют точность поиска до 3 сантиметров и могут генерировать 3D-модели высокого разрешения, которые могут быть интегрированы в трехмерные геологические построения;

- применение ГИС (горно-геологических информационных систем), таких как Micromine, Datamine, Vulcan, Leapfrog и другие, позволяют свести всю доступную геолого-геофизическую информацию в трехмерные модели, что позволяет работать с информацией для разноуровневых таксонов. Эти программы так же позволяют учитывать геолого-экономические параметры, строить каркасы оптимальных карьеров уже на начальной стадии ГРП, что позволяет просчитывать экономику будущего рудника;

- применение технологии BIG DATA позволяет привлекать инструменты и методы обработки структурированных и неструктурированных геолого-геофизических данных огромных объемов, что дает технологические перспективы вероятного скачка «от количества к качеству». В настоящий момент геологической службой АК АЛРОСА накоплен огромный массив геолого-геофизических данных, которые требуют осмысленного анализа, в комплексе с вышеназванными методами.

В целом, анализируя нынешнее состояние алмазопроисловой геологии и её научно-методического обеспечения, есть все основания утверждать, что динамическое развитие МСБ алмазодобывающей отрасли будет успешно продолжаться.

Р.Ю. Желонкин, А.Л. Земнухов
ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СЛУЖБА АО «АЛМАЗЫ АНАБАРА»

Основные вехи истории предприятия

В январе 1998 года было создано ООО «Алмазы Анабара» – предприятие по добыче россыпных алмазов в Анабарском улусе. В 2004 года оно было преобразовано в ОАО «Алмазы Анабара», а в 2016 году в АО «Алмазы Анабара».

Деятельность предприятия неразрывно связана с геологоразведочными работами.

В далеком 1963 г. советскими геологами в ходе геолого-съёмочных работ была установлена алмазоносность русловых отложений р. Майт, практически одновременно с установлением промышленной алмазоносности

аллювия других крупных водотоков района. С этого момента геологические исследования в районе приобрели отчетливую алмазопроисловую направленность, было выявлено и детально разведано семь промышленных россыпей алмазов, в том числе уникальная по запасам россыпь р. Эбелях. Россыпное проявление алмазов р. Майт по результатам проведенных работ, в том числе полномасштабных поисковых 1990-1995 гг. было отнесено к непромышленным.

Только в 1997 г. по результатам ревизионных работ Амакинской ГРЭ АК «АЛРОСА» был выявлен небольшой отрезок русла р. Майт с промышленной алмазоносностью. Подсчитанные запасы и ресурсы алмазов категории C_2+P_1 составили немногим более 100 тыс. карат.

В 1998 году было организовано ООО «Алмазы Анабара», для проведения геологоразведочных и, в случае получения положительных результатов, эксплуатационных работ на россыпном проявлении участка р. Майт. Уже в 1999 году началась отработка месторождения в долине р. Майт, а проведение сопутствующих геолого-поисковых работ, позволило достигнуть удвоения производства товарной продукции. Численность работников предприятия составляло всего 40 человек.

В 2000 году по результатам проведенной предварительной разведки Республиканской комиссией по запасам были утверждены первые промышленные запасы месторождения по категории C_1 . Впервые были подсчитаны прогнозные ресурсы участков россыпей «Нижний», «Средний» и «Верхний», которые нашли подтверждение последующими оценочными работами.

В 2001 году было получено дополнение к лицензии на геологическое изучение и добычу алмазов в долине р. Майт, а к 2004 году объем добычи алмазов с начала работы общества составил 1 млн. карат. Был выигран аукцион, получена лицензия на разведку и добычу алмазов на россыпном месторождении Моргогор. Предприятие преобразовано в ОАО «Алмазы Анабара», в котором 51 % уставного капитала принадлежало АК «АЛРОСА», 49 % – Министерству имущественных отношений Республики Саха (Якутия).

В 2005 году звания «Первооткрыватель месторождения» были присвоены М.Н. Евсееву, И.И. Андрееву, И.И. Иванову, М.Г. Мухамедьярову, В.М. Подчасову, И. П. Попову. В том же году была получена лицензия на геологическое изучение, поиски и оценку месторождений алмазов на участке Майт-Водораздельный, а предприятие награждено орденом «Слава России» за большие заслуги в возрождении и развитии славных традиций отечественного предпринимательства.

В 2006 году была получена лицензия на геологическое изучение и добычу алмазов на флангах россыпного месторождения р. Майт. ОАО «Алмазы Анабара» вошло в пятерку лучших предприятий Республики Саха (Якутия).

К 2007 году был достигнут годовой объем добычи алмазов в размере 1 млн. карат, получены две лицензии на геологическое изучение и добычу россыпного золота на территории Ленского района.

В 2008 году получены лицензии на разведку и добычу алмазов на месторождениях Холомолах, Исток, Рч 53, Солур-Восточная, получена лицензия на геологическое изучение алмазов на участке Левобережный, выиграны аукционы на право владения лицензиями на разведку и добычу алмазов на участках Хара-Мас и Правобережье р. Моргогор.

К 2010 году чистая прибыль предприятия достигла 1,3 миллиарда рублей, а в 2011 году общий объем добытых алмазов составил 10 млн. карат со времени начала работы предприятия, среднесписочная численность работников составила 1091 человек.

В 2012 году были получены две лицензии на право ведения разведки и добычи россыпных алмазов на месторождениях р. Эбелях и руч. Гусиный. В декабре 2012 года был приобретен 100% пакет акций ОАО «Нижне-Ленское».

В 2013 году, в 15-летнюю годовщину образования предприятия общий объем добытых алмазов достиг уровня 15 млн. карат.

В 2014 году ОАО «Алмазы Анабара» по факту первооткрывательства была получена лицензия на право пользования недрами с целью разведки и добычи на уч. «Исток» россыпи руч. Олом, выигран аукцион на право пользования недрами с целью геологического изучения, разведки и добычи алмазов и попутных драгоценных металлов на россыпном месторождении «р. Малая Куонамка с притоком Маспака».

В 2015 году по итогам проведенных аукционов были получены три лицензии на право пользования участками недр «Эекитский», участка федерального значения «Очоус., правый приток р. Анабар» и участка федерального значения «руч. Лясегер-Юрях, левый приток р. Маят» для разведки и добычи алмазов.

В 2016 год была проведена разовая актуализация двенадцати лицензий, переоформлены три добычных лицензии с АО «Нижне-Ленское» на АО «Алмазы Анабара» («р. Большая Куонамка», «Россыпь р. Молодо», «р. Талахтах»).

В 2017 году был выигран аукцион на право пользования недрами с целью геологического изучения, разведки и добычи россыпных алмазов на следующих участках: «Верховье р. Молодо», «р. Далдын», «руч. Баллаганах, левый приток р. Эбелях», «руч. Кумах-Юрях с притоками Лабазный и Болотистый», «Средний россыпи р. Большая Куонамка», «Верховье р. Уджа». До конца года запланировано переоформление еще трех лицензий АО «Нижне-Ленское» в распоряжение АО «Алмазы Анабара».

Таким образом, за неполные 20 лет предприятие стало одним из ведущих в алмазодобычи страны, флагманом по отработке уникальных россыпных месторождений алмазов.

Структура, цели и задачи геологической службы

С первого дня работы предприятия геологическая служба предприятия осуществляла необходимую работу по обеспечению производственных мощностей запасами алмазов.

В настоящее время в геологическое управление входят следующие структурные подразделения: лицензионный отдел, геологический отдел, отдел поисковой геологии, отдел эксплуатационной геологии, отдел геофизических исследований, отдел минералогических исследований, отдел компьютерной обработки, группа поисково-разведочных работ, группа общераспространённых полезных ископаемых, ГРП «Маятская», ГРП «Молодинская», ГРП «Куонамская», лабораторно-обоганительный комплекс.

Численность геологического управления составляет: ИТР - 131 человек, рабочий персонал - 216 человек.

Целями деятельности службы Геологического управления предприятия является: обеспечение горно-добычных участков эксплуатационными контурами с сопровождением добычных работ и достоверный учет движения запасов; воспроизводство минерально-сырьевой базы предприятия.

Основными задачами геологической службы являются: проведение опережающей и сопровождающей эксплуатационной разведки на разрабатываемых месторождениях; геологическое сопровождение добычных работ, обеспечение полноты и качества отработки месторождений; предупреждение нарушений требований промышленной безопасности и охраны недр; лицензирование новых объектов для постановки геологоразведочных работ; выполнение полного цикла геологоразведочных работ всех стадий (поиски, оценка и разведка) на лицензионных площадях.

Геологоразведка и добыча

В настоящее время предприятие располагает 22 лицензиями на право пользования недрами с целью геологического изучения, разведки и добычи россыпных алмазов. В 2017 г. АО «Нижнеленское» войдет в состав АО «Алмазы Анабара». Это позволит более эффективно осуществлять производственную деятельность Группы «АЛРОСА» на севере Якутии.

Геологоразведочные и добычные работы АО «Алмазы Анабара» на алмазы сосредоточены в Анабарском, Куонамском (западная часть площадей) и Приленском (восточная часть площадей) алмазоносных районах. С 2017 г. начинаются ГРП в Уле-Уджинском (Верховья р. Уджи) и Нижнеоленинском (р. Куойка) районах.

В административном отношении участки недр для геологического изучения располагаются в пределах муниципальных образований «Анабарский национальный долгано-эвенкийский улус (район)», «Оленекский национальный район улус район (улус)», «Булунский район (улус)» (рис. 1, рис. 2).

В пределах Анабарского и Куонамского районов осуществляются геологоразведочные работы и добыча алмазов в бассейнах рр. Анабар, Большая и Малая Куонамка. В Приленском алмазоносном районе геологоразведочные работы (ГРП) сосредоточены в бассейнах рек Молодо и Далдын. В непростых природных условиях коллектив геологической службы предприятия успешно решает поставленные перед ним производственные задачи (рис. 3).

Традиционно основными видами ГРП, осуществляемыми предприятием, являются – минералогическое опробование, осуществляемое посредством отбора шлихо-минералогических проб разного объема, проходкой шурфов и бурением скважин. Важную роль среди производственных (геологических) процессов играют геофизические исследования и обогащение. Традиционно в сопровождении проводимых ГРП помимо предприятий и подразделений Группы «АЛРОСА» участвуют ведущие научно-производственные организации России. Финансирование ГРП и эксплоразведочных работ за последние годы увеличилось на 25% (рис. 4), что обусловлено работами на лицензионных площадях с недоизученными объектами отработки и низкой долей запасов высоких категорий.

Сводные объемы ГРП и ЭРП приведены на рис. 4. Прирост запасов за период с 1999 года по 2016 год составил 60,8 млн. карат, в том числе за счет проведения ГРП собственными силами предприятия. Согласно плану ГРП в 2017-2021 годах прирост запасов составит 17,4 млн. кар.

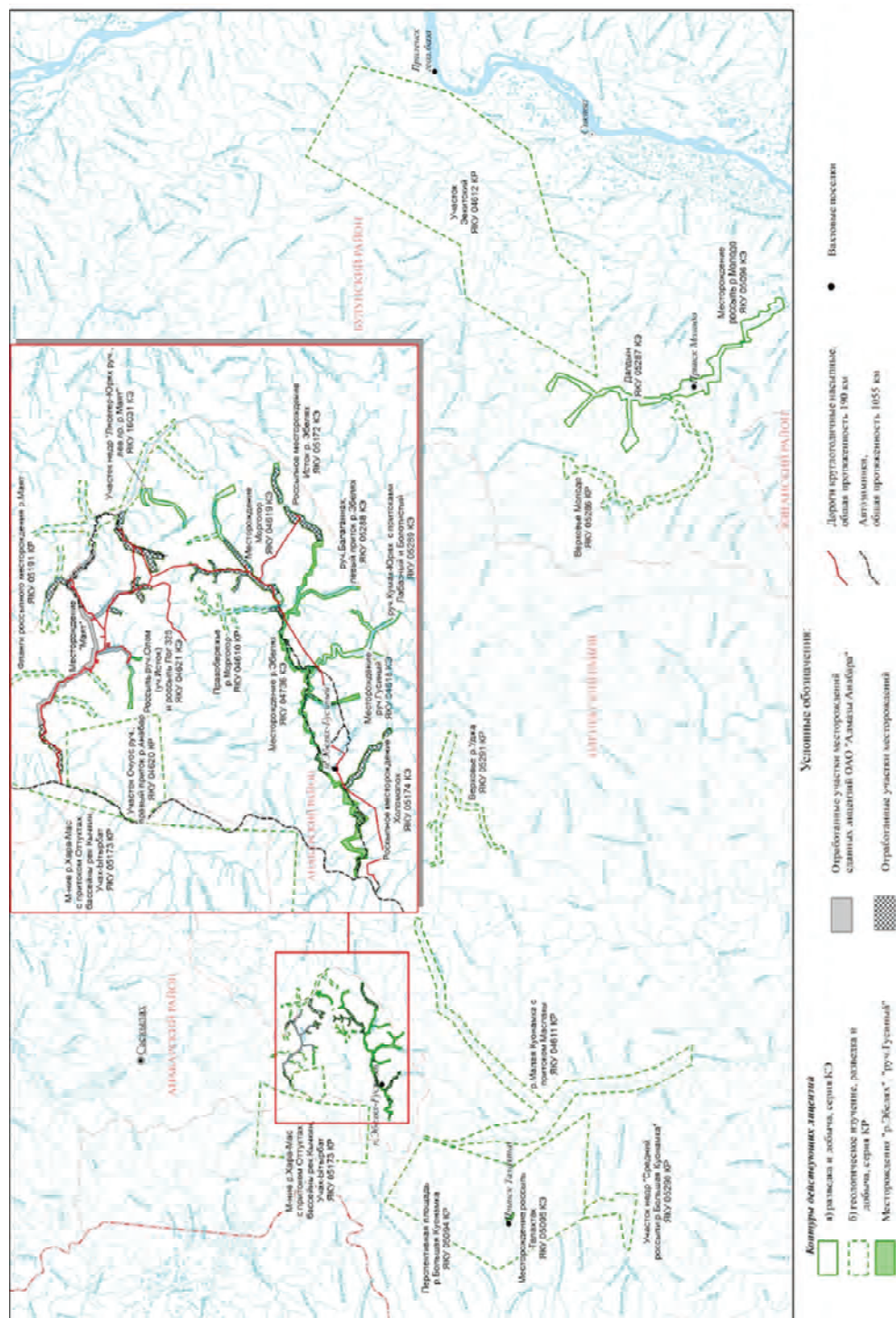


Рис. 1. Схема расположения объектов недропользования.



Рис. 2. Схема добычной и геологической деятельности.



Рис. 3. Утро на Маяте (а), сложности профессии (б), р. Уджа, сплав поискового отряда (в) и р. Малая Куонамка (г).

Помимо поисков, оценки и разведки россыпей алмазов геологоразведочные подразделения предприятия проводят комплекс работ, направленный на обнаружение коренных месторождений алмазов. В 2017 г. работы проводились на объекте Эекитский (рис. 5), на левом берегу нижнего течения р. Лена. В 2016 г. в пределах Эекитской площади было вскрыто новое кимберлитовое тело.

Реализованный комплекс ГРП позволяет предприятию успешно восполнять минерально-сырьевую базу, наращивая объемы алмазодобычи. За период с 1998 по 2016 годы алмазодобыча выросла с 5 тысяч до 5,1 млн. карат в год (рис. 6). Успешно функционируют три современных прииска – Маят, Талактах, Молодо на производственных мощностях которых проводится комплекс работ по обогащению песков россыпей и извлечению алмазов.

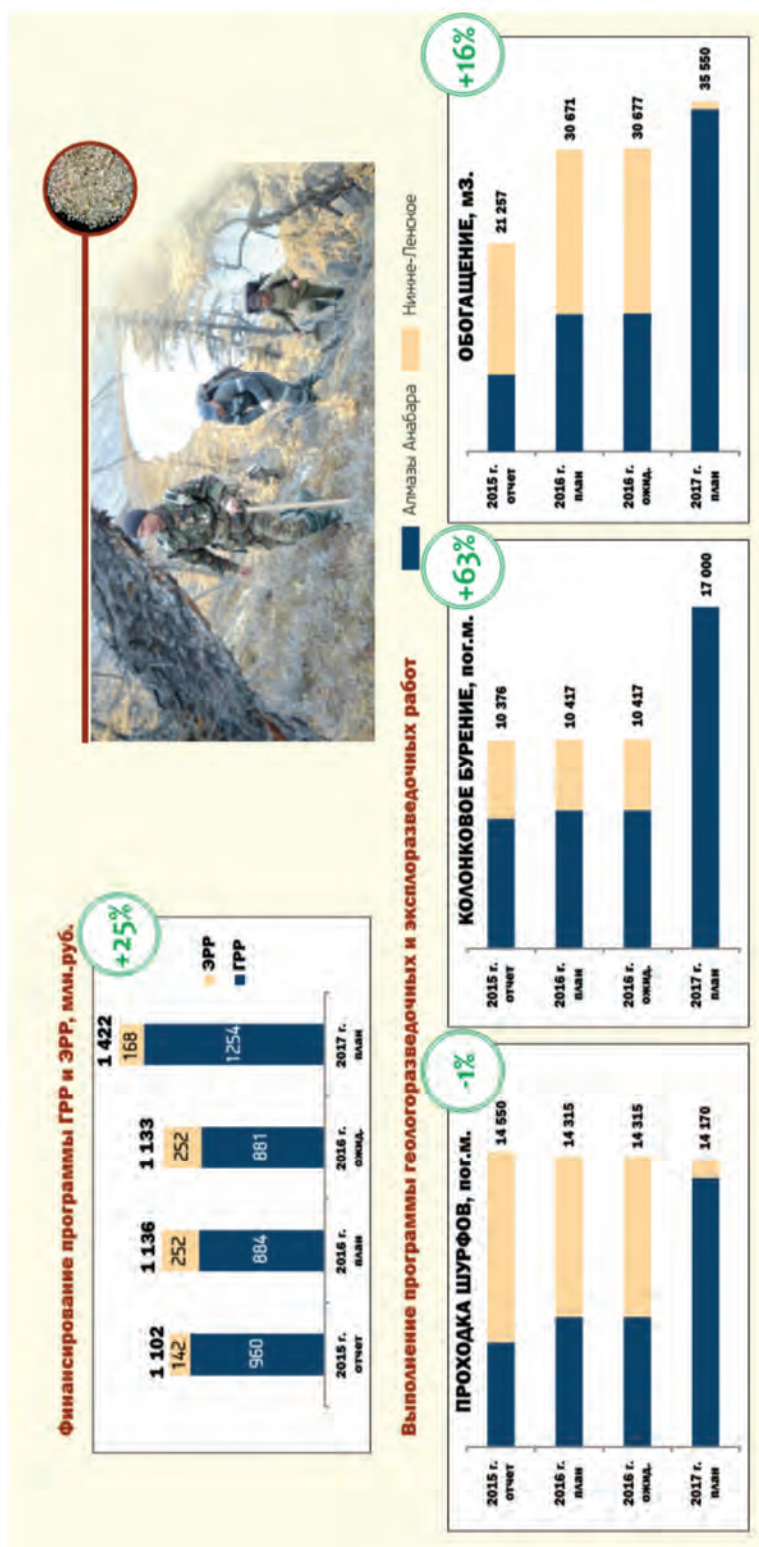


Рис. 4. Выполнение программы геологоразведочных и эксплуатационных работ в 2015-2017 гг.



Рис. 5. Объект Эекитский. Переброска буровой бригады (слева), триангуляционный пункт (справа).

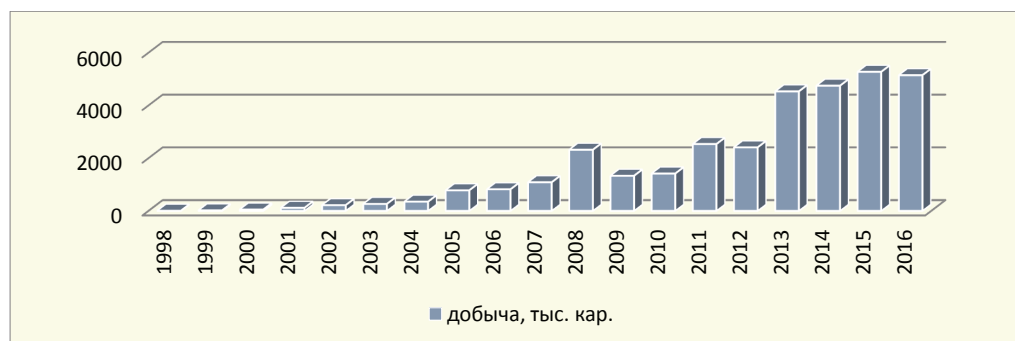


Рис. 6. Алмазодобыча 1998-2016 гг.

Заключение

31 мая 2017 г по результатам аукциона АО «Алмазы Анабара» получили право пользования недрами по 6-ти лицензионным участкам. Бланки лицензий получены 29 июня 2017 г.: ЯКУ 05286 КР - «Верховье Молодо», ЯКУ 05287 КЭ - «Далдын», ЯКУ 05288 КЭ - «руч. Балаганнах, левый приток реки Эбелях», ЯКУ 05289 КЭ – «руч. Кумах-Юрях с притоками Лабазный и Болотистый», ЯКУ 05290 КР – «участок недр Средний россыпи р. Большая Куонамка», ЯКУ 05291 КР – «верховье р. Уджа». В пределах лицензионных площадей сосредоточены крупные россыпи алмазов с высокими показателями ресурсной обеспеченности. В ближайшие годы запланировано интенсивное проведение ГРП, которое позволит поставить на баланс предприятия новые запасы алмазов, исчисляемые миллионами карат. Отметим, что с 2017 г. АО «Алмазы Анабара» начало попутное извлечение золота и платины из россыпей, открыв таким образом новые горизонты развития Группы «АЛРОСА». Все это позволяет предприятию с уверенностью смотреть в будущее, расширяя достигнутые горизонты.

А.С. Галкин, И.С. Зезин, В.Н. Широбоков
**ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СЛУЖБА ПУБЛИЧНОГО АКЦИОНЕРНОГО
ОБЩЕСТВА «СЕВЕРАЛМАЗ»**

ПАО «Севералмаз» является дочерним предприятием крупнейшей в мире компании по добыче природных алмазов – АК «АЛРОСА» (ПАО). Доля производства ПАО «Севералмаз» в общем объеме добычи предприятий группы АЛРОСА в 2017 году составила 5%, в дальнейшем планируется увеличить эту цифру до 10%.

ПАО «Севералмаз» горнодобывающее предприятие в Архангельской области, которое разрабатывает самое крупное месторождение алмазов в Европе – месторождение им. М.В. Ломоносова, в состав которого входят шесть кимберлитовых тел: им. М.В. Ломоносова, Пионерская, Поморская, им. Карпинского-1, им. Карпинского-2 и Архангельская. Предприятие было создано в 1992 году, а непосредственно добыча руды началась с 2005 года. В 2014 году Ломоносовский горнообогатительный комбинат (ЛГОК) вышел на проектную производительность – 4,0 млн. тонн руды в год.

Месторождение разрабатывается открытым способом, характеризуется сложными горно-геологическими и гидрогеологическими условиями разработки, не имеющими аналогов в мировой практике, наличием нескольких рудных тел разной степени геологической изученности, что определяет повышенные требования к геологическому обеспечению и планированию добычного производства.

Геологическое обеспечение является одним из ведущих элементов основного производственного процесса, обеспечивающее планирование горно-добычных работ, эффективный учет и контроль полноты использования недр. Важнейшей функцией геологической службы является осуществление геологическими методами контроля и управления качеством горно-обогатительных работ, полноты извлечения производимой продукции, проведение эксплуатационной разведки, изыскание иных георесурсов для повышения эффективности производства.

Кроме того, в задачи геологической службы входят поиски новых месторождений алмазов с целью восполнения минерально-сырьевой базы и улучшения ее структуры, а также обеспечение ЛГОКа другими видами полезных ископаемых, необходимых для его стабильной работы.

Геологическая служба ПАО «Севералмаз» состоит из нескольких подразделений, каждое из которых выполняет свой круг задач: управление главного геолога ПАО «Севералмаз», осуществляющее оперативное управление и координацию всех видов геологических работ, отдел главного геолога Ломоносовского ГОКа и Поморская геологоразведочная экспедиция. Руководителем геологической службы является главный геолог ПАО «Севералмаз». Методическое руководство геологической службой ПАО «Севералмаз» осуществляют также главный геолог и отделы эксплуатационной и поисковой геологии головной компании АК «АЛРОСА».

Геологическая служба ЛГОКа решает все задачи, связанные с обслуживанием действующего горнодобывающего предприятия, важнейшие из которых это – всестороннее изучение горно-геологических и гидрогеологических особенностей разрабатываемого месторождения и подбор руд необходимого качества для подачи на обогатительную фабрику.

В настоящее время ведется отработка двух южных трубок месторождения – Архангельской и им. Карпинского-1 (рис. 1, рис. 2).



Рис. 1. Общий вид карьеров на трубках Архангельская (на заднем плане) и им. Карпинского-1 (на переднем плане). 2016 г.



Рис. 2. Добыча руды на трубке Архангельская.

Добыча руд в карьерах ведется под руководством участковых геологов, которые определяют типы руды по визуальным характеристикам (с контрольным подтверждением содержания алмазов в рудах валовым опробованием), и примерное содержание алмазов в ней на основе комплексного анализа эксплоразведочных данных и накопленного опыта. Геологи осуществляют также подбор смеси руд с различными физико-механическими свойствами и содержаниями алмазов для подачи на обогатительную фабрику, с целью улучшения обогатимости руд, обеспечения проектной производительности фабрики и получения основной продукции.

Геологи Ломоносовского ГОКа обеспечили селективную добычу руд кратерных частей трубков, которые характеризуются наибольшей изменчивостью типов руд. Без селективной добычи рентабельная отработка руд кратерных фаций была бы невозможна.

Геологической службой ЛГОКа регулярно уточняются положения контактов рудного тела с вмещающими породами и между различными типами руд внутри рудного тела. Полученные фактические данные вносятся в базу данных и на их основе происходит постоянная корректировка каркасных моделей рудных тел.

Особое внимание уделяется полноте и качеству геологической информации по потенциальной угрозе деформаций горного массива при производстве горных работ, строительстве и эксплуатации основных конструктивных элементов карьеров. Ведется постоянная работа по детальному изучению геологии и тектонической нарушенности горных пород околорудного массива.

Другой важной задачей геологической службы Ломоносовского ГОКа является изучение и мониторинг гидрогеологических условий месторождения. Высокая степень обводненности массива вмещающих горных пород обусловлена присутствием в гидрогеологическом разрезе нескольких взаимосвязанных водоносных горизонтов и комплексов значительной мощности с высокими гидростатическими напорами, наличием глубоко врезаемых современных и древних речных долин. Низкая прочность и обводненность вмещающих пород предъявляют высокие требования к работе системы осушения для обеспечения безопасных условий отработки карьеров. По результатам мониторинга состояния геологической среды разрабатываемых трубок месторождения выдаются рекомендации по направлению горных работ с учетом устойчивости бортов карьера, наличия или отсутствия потенциально опасных зон.

Участковые гидрогеологи Ломоносовского ГОКа осуществляют мониторинг тех объектов ГОКа, эксплуатация которых приводит к изменению гидродинамической ситуации в районе месторождения (дренажный контур водопонижающих скважин, карьерный водоотлив, участки водозаборов, хвостохранилище, участки отведения откачиваемых карьерных и дренажных вод). Проводится анализ результатов мониторинга гидрогеологической ситуации и при взаимодействии с научными организациями дается оценка эффективности действующей системы осушения и прогноз водопритоков в карьеры.

Неотъемлемой составляющей мониторинга является гидрохимическое опробование основных водоносных горизонтов и комплексов как по скважинам, так и по системам водоотведения дренажных и карьерных вод.

Поморская ГРЭ, по современным меркам, большое геологическое подразделение, насчитывающее в своем составе около 300 чел., в том числе около 40 чел. квалифицированных геологов, геофизиков, геодезистов и топографов. Самый большой по численности – буровой участок геологоразведочной партии, насчитывающий в своем составе 10-12 буровых бригад. В составе экспедиции также находится геологический обогатительный комплекс, минералогическая лаборатория, необходимые для исследования керновых и валовых проб, отбираемых в процессе проведения эксплуатационной разведки и геологоразведочных работ.

Поморская геологоразведочная экспедиция является основным исполнителем геологоразведочных работ и эксплуатационной разведки ПАО «Севералмаз». Кроме геологоразведочных работ в задачи экспедиции входит строительство скважин различного назначения для нужд Ломоносовского ГОКа: водопонижающих, гидронаблюдательных скважин режимной сети, скважин для проведения мониторинга геологической среды.

Опережающая эксплуатационная разведка проводится с целью подготовки исходных данных для текущего и перспективного планирования объемов добычи полезного ископаемого, определения направлений горнодобычных работ.

В задачи эксплуатационной разведки входит уточнение запасов алмазов промышленной крупности, исследование типоморфных особенностей и качества алмазов, характер их распределения в выемочных единицах эксплуатационных блоков, вовлекаемых в ближайшие годы в отработку, определение физико-механических свойств руд в выемочном пространстве.

Результаты эксплуатационной разведки легли в основу составления ТЭО эксплуатационных кондиций для отработки блока А-2а-В трубки Архангельская, которые были утверждены ГКЗ (протокол 334-к от 05.12.2012 г.), что позволило рентабельно отработать запасы алмазов в этом кратерном блоке на основе селективного способа добычи.

По данным эксплуатационной разведки выполнен пересчет запасов блока А-2б-В трубки Архангельская с целью пересмотра его балансовой принадлежности, связанного с не подтверждением запасов алмазов по блоку, подсчитанных по результатам детальной разведки. Решением ФБУ «ГКЗ» (протокол № 4683-оп от 16.08.2016 г.) запасы по блоку А-2б-В переведены в группу забалансовых. На основе решения ГКЗ по блоку А-2б-В составлено дополнение к техническому проекту разработки, в котором был оптимизирован календарный план горных работ. Оптимизация календарного плана позволяет значительно (на 52 %) увеличить добычу алмазов в 2017-2019 гг. Дополнение к проекту разработки согласовано в ЦКР (протокол заседания ЦКР-ТПИ Роснедр № 269/16-стп от 08.11.2016г.).

В 2011-2015 г. была проведена доразведка трубок Пионерская и Поморская (рис. 3). В результате разведочных работ по трубке Пионерская в контуре ранее утвержденных балансовых запасов класса +0,5 мм получен прирост балансовых запасов алмазов на 8,35 млн. карат (17,8 %). В 2016 г. ФБУ «ГКЗ» рассмотрены ТЭО постоянных разведочных кондиций по северной группе трубок и отчет с подсчетом запасов по трубкам Пионерская и Поморская. Запасы алмазов трубки Пионерская актуализированы для открытой добычи в экономически обоснованном контуре карьера по у.с.к. +2. Подкарьерные запасы переведены в забалансовые. (Протокол ФБУ «ГКЗ» № 4560 от 11.03.2016 г.). Забалансовая принадлежность запасов трубки Поморская оставлена без изменений.

Для обустройства инфраструктуры горно-обогатительного комбината проводятся поиски, оценка и разведка месторождений строительных материалов. Геологами было открыто и подготовлено для разработки более десятка месторождений песчано-гравийного сырья для строительства дорог, площадок под промышленные и жилые объекты, дамб хвостохранилища Ломоносовского ГОКа. Многие из месторождений уже выработаны, поэтому в настоящее время поиски и разведка новых месторождений строительных материалов продолжаются.

Для обеспечения питьевой и технической водой вахтового поселка и промышленных объектов разведаны и утверждены в ТКЗ запасы подземных вод.

Поморская ГРЭ проводит поиски новых коренных месторождений алмазов на лицензионных площадях, открытие которых позволит восполнить минерально-

сырьевую базу ПАО «Севералмаз» и продлить сроки функционирования предприятия после отработки балансовых запасов месторождения им. М.В. Ломоносова.

Возможность восполнения и расширение сырьевой базы алмазов основывается на прогнозных ресурсах Зимнебережного алмазоносного района, которые показывают, что перспективы района еще далеко не исчерпаны, и может быть открыто еще не одно месторождение алмазов. Сложность поисков новых месторождений заключается в том, что поисковые работы Зимнебережном районе проводятся уже более 30 лет и район характеризуется высокой степенью геологической и геофизической изученности.

Сложившийся еще в 80-е годы прошлого столетия прогнозно-поисковый комплекс: аэромагниторазведка – детализация перспективных магнитных аномалий наземной магниторазведкой и электроразведкой – заверка перспективных геофизических участков бурением, показавший высокую эффективность в первые годы изучения Зимнебережного алмазоносного района, сейчас уже не обеспечивает опоскование площадей на кимберлитовые тела, создающие магнитные аномалии с интенсивностью на уровне геологических помех.

Поэтому эффективный поиск глубоко залегающих слабомагнитных кимберлитовых тел, перекрытых более молодыми палеозойскими и четвертичными отложениями, требует разработки новых методик обработки накопленной геолого-геофизической, геолого-структурной информации и включения в поисковый комплекс других методов, основанных на иных физических принципах.



Рис. 3. Работа с керном разведочных скважин на трубке Пионерская.

ПАО «Севералмаз» проводит большую работу в этом направлении: в последние годы апробированы для поисков новые методы геохимических поисков, георадиолокационная съемка, радиоизотопные исследования, результаты которых показывают возможность поиска слабромагнитных алмазоносных кимберлитовых трубок, что позволит открыть новые месторождения алмазов и пополнить сырьевую базу России.



Георгий Дмитриевич Балакишин родился 2 апреля 1933 года в Якутии, в селе Нюрба. Там же начал трудовую деятельность в 1956 году после окончания Московского геологоразведочного института в качестве инженера-геофизика в Амакинской геологоразведочной экспедиции, работающей на алмазы.

В 1957-1968 годах работал в поле начальником геофизических аэро и наземных партий Амакинской экспедиции. В эти же годы Балакишин Г.Д. в 1968 году в институте геологии СО АН СССР в г. Новосибирске защитил диссертацию «Применение геофизических методов для поисков кимберлитовых трубок в Западной Якутии», получив ученую степень кандидата геолого-минералогических наук. В 1969-1991 гг. работал главным геофизиком Якутского геологического управления и ПГО «Якутскгеология»; занимался организацией производственных геофизических работ на всей территории Якутии и на все виды полезных ископаемых, включая алмазы, золото, нефть и газ, олово, уголь, железные руды. Основная сфера научных интересов Балакишина Г.Д. – технологии комплексирования геолого-геофизических методов в геологоразведке. а этот период Балакишину Г.Д. присвоено звание «Заслуженный геолог Якутской АССР» и вручены 6 государственных и ведомственных медалей. В 1977 году он был избран членом международной Академии «Северный форум». В 1983 году ему была присуждена Премия Совета Министров СССР «За разработку и широкое внедрение в производство рентгено радиометрических методов и аппаратуры, обеспечивающих значительное повышение эффективности геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые». С 1998 года по настоящее время Балакишин Г.Д. работает в должности ведущего геофизика в геологоразведочных экспедициях акционерной компании «АЛРОСА», ведущих поисково-разведочные работы на алмазы в Западной Якутии. Свою производственную деятельность Балакишин Г.Д. сочетает с общественной, являясь членом Общественного Совета при Министерстве промышленности и геологии РС(Я) от АК «АЛРОСА», членом Совета Старейшин РС(Я), членом Государственной аттестационной комиссии геологоразведочного факультета Северо-Восточного федерального государственного университета. Им опубликовано по геологической тематике более 60 статей в российских научных изданиях и в местной прессе.

Г.Д. Балакишин

КОМПЛЕКС ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ – ДИРЕКТИВА ИЛИ НЕОБХОДИМОСТЬ

В 70-х годах началась большая работа по разработке методики поисков кимберлитовых трубок в закрытых районах. С целью повышения эффективности поисковых работ и координации усилий производственных и научных организаций по поручению Министра геологии СССР Е.А.Козловского была разработана и утверждена комплексная программа работ в Якутской алмазоносной провинции на 1977-1980 гг. В обсуждении и подготовке Программы были задействованы лучшие силы и умы отечественной геологии: академики (геолог В.С.Соболев, геофизик А.С.Алексеев), доктора и кандидаты научно-исследовательских институтов ЦНИГРИ, СНИИГИМС, ВостСНИИГИМС, Рудгеофизика, ВНИИЯГТ, ВНИИГИС. По результатам работ ПГО «Якутскгеология» и научно-исследовательских организаций, участвующих в реализации программы, на первом этапе были разработаны «Временные методические указания по методике поисков комплексом геолого-геофизических методов коренных месторождений алмазов в Якутской АССР». В состав редакционной коллегии, которую возглавлял первый заместитель Министра геологии СССР Зубарев Б.М., входили руководители Мингео СССР и представители АН СССР и ПГО «Якутскгеология»: Алексеев А.С., Балакишин Г.Д., (зам. Редактора), Биланенко В.А., Дауев Ю.М., Ерхов В.А.(зам.редактора), Жоголев Л.П., Зайченко В.Ю., Рябченко В.Е., Чернов

Е.Д.(зам.редактора). Утвержденные 7 августа 1981 года Зубаревым Б.М. эти «Методические указания» стали директивным документом, на основании которого проектировались и проводились все поисковые геолого-геофизические работы на алмазы в Мингео СССР.

Комплексирование геолого-геофизических методов и основные элементы технологии геолого-геофизических работ были разработаны для стадий региональных и поисковых работ и для шести типов площадей, районируемых по сложности геологического разреза. Наиболее общей рекомендацией по соблюдению технологии комплексных работ являлось выполнение исследований и видов работ в определенной указанными последовательности. При этом постулировалась более высокая экономическая эффективность рационального комплекса по сравнению с традиционным и повышение достоверности геологического изучения перспективной площади. Бесспорным достижением являлось районирование территории ЯАП на геотипы, которое используется до сих пор. Также в актив утвержденных комплексных технологий следует отнести происходившее в эти годы открытие новых кимберлитовых полей и коренных месторождений алмазов в Зимнебережном районе Архангельской области.

В 1989 году, при поддержке ведущих геологов и руководства алмазных экспедиций, были утверждены постоянные «Методические указания по поискам коренных месторождений алмазов на Сибирской платформе (Якутская алмазоносная провинция)», которые стали на долгие годы основным руководящим документом при проектировании и проведении поисковых работ на алмазы. В число составителей и редакторов «Методических указаний» входили геологи и геофизики: от ПГО «Якутскгеология» - Биланенко В.А., Черный Е.Д., Балакшин Г.Д., Богатых И.Я., Кусов Т.Р., Кутузова Т.С., Погудин И.А., Подчасов В.М., Парасотка Б.С., Ушаков В.М., Черный С.Д., Мясников Ф.В., Эринчек Ю.М., Гарат М.Н., от Мингео СССР и РСФСР – Дауев Ю.М., Ерхов В.А., Антонов В.В., Богатых И.Я., от НПО «Рудгеофизика»- Калинин О.И., Леончиков В.М., Сараев А.К.

В новом варианте «Методических указаний» было предложено усилить направление глубинного геологического картирования и уточнено районирование территории ЯАП по геотипам. Также было подтверждено, что на площадях IV-VI геотипов основу комплекса геолого-геофизических методов должны составлять сейсморазведка и бурение. Последняя рекомендация была достаточно обоснованной. В результате большого объема производственных сейсморазведочных работ с импортной аппаратурой (мирового уровня того времени) было доказано: на сейсмогеологических разрезах выделяются элементы тектоники, в том числе кимберлитоконтролирующие разрывные нарушения; в площадном варианте с применением продольно-непродольного профилирования МОГТ возможен поиск трубчатых кимберлитовых тел. Также важно отметить, что в те годы впервые были получены удовлетворительные (интерпретируемые) сейсмические отражения на участках с трапповым покровом.

Но в 90-х годах наступила в СССР эпоха рыночных отношений. Было резко уменьшено финансирование на геологоразведочные работы, в том числе и на алмазы, что болезненно отразилось и на ГРР ПГО «Якутскгеология». Понятно, что дорогостоящий метод сейсморазведки был прикрыт в первую очередь..

В те, доперестроечные, годы удельный вес геофизических работ на алмазы составлял 35-40 % от общего объема геологоразведочных работ. В последующие годы, в том числе и после перехода алмазопромышленных экспедиций в состав АК «АЛРОСА», выделение ассигнований на геофизические поисковые работы по отрасли «алмазы» оставалось на том же уровне. Таким образом, можно считать, что в рациональном комплексе геолого-геофизических методов поисков алмазных месторождений было утверждено и равное по эффективности участие геофизиков в поисках и открытиях коренных месторождений алмазов.

С 1992 года начинается новый отсчет в истории алмазной геологии в Якутии, так как все геологоразведочные предприятия ПГО «Якутскгеология» по отрасли «алмазы» вошли в состав Акционерной компании «АЛРОСА». С точки зрения осуществления поисковых технологий, для геологического руководства АК «АЛРОСА» упомянутые выше методические указания не являлись директивным документом, а носили лишь рекомендательный характер.

В начале 2000-х годов геологическим руководством АК «АЛРОСА» объявляется новая «Стратегия алмазопроизводства на территории Западной Якутии». В объявленных трех стадиях поисковых работ новой являлась стадия «Предварительные поиски (поиски первого этапа)». Основные особенности предварительной стадии: задачей является выявление новых кимберлитовых полей, базовым методом поисков является шлихо-минералогический метод; технология ведения предварительных поисков сводится к регулярному пробоотбору с применением бурения по сети 20х2 км и 10х2 км, и с применением опережающей аэрогеофизической магнитной съёмки масштаба 1:10 000.

По сути это было возвращением к так называемому традиционному комплексу методов.

Однако, ретроспективно рассматривая широкомасштабные геологоразведочные работы, проведенные в новом Накынском кимберлитовом поле, можно отметить, что основные принципы более широкого комплексирования геологических и геофизических методов на стадии детальных поисков были в компании сохранены. Здесь добрым словом отмечу роль группы энтузиастов, ведущих геологов и геофизиков Ботуобинской экспедиции, много сделавших для возвращения сейсморазведки (возвращения на новом современном уровне) в поисковый комплекс. Об этом я более подробно написал в статье «Взрыв на службе поисковиков» (Вестник «АЛРОСА», № 1, 2003 г.), искренне считая этот путь ответом на вызовы времени.

Мне довелось в августе сего года (2017-го) принять участие в совещании при главном геологе АК «АЛРОСА» Гаранине К.В. Главные геологи всех геологических подразделений компании докладывали результаты работ в текущем году и излагали планы ГРП на 2018 год. В этом году ситуация в компании «АЛРОСА» с приростом запасов алмазного сырья сложилась напряженная, начали звучать обвинения (и сверху и снизу) в недостаточной эффективности поискового комплекса геолого-геофизических методов. Однако, несмотря на сокращение финансирования ГРП с уменьшением расходов на поиски, несмотря на проведенную реорганизацию геологоразведочной структуры, – обстановка на совещании была деловой. Основной, и трудной и напряженной, задачей поисков оставалось, как всегда – острая необходимость открытия нового месторождения алмазов /алмазоносный кимберлит которого, по-видимому, снова будет необычен по своим физическим и минералогическим параметрам/. В планировании будущих направлений работ будущей экспедиции можно было услышать такие новации: как и где провести сейсморазведку 3D, разрешить выполнение радиоволновой геоинтроскопии, поддержать начало опытно-методических исследований по сейсмическому просвечиванию под траппами ... Главные геологи и главные геофизики думают, и решают, имея достаточно современный технический и методический арсенал ...

Но как, именно сегодня, ещё повысить геологическую эффективность алмазопроизводства работ? Вопрос, регулярно возникающий, время от времени, с 80-х годов прошлого века ...

Думаю, что очередной виток спирали требует вернуться к обсуждению и уточнению «Методических указаний» ...по созданию рационально-рентабельного комплекса геолого-геофизических методов ... с привлечением для обсуждения оппонентов из разных производственных и научных сфер.

К примеру, по моему мнению: явно требуются уточнения по районированию территории, необходимо провести детальное картирование территории по применимости каждого геофизического метода в отдельности, особенно по электроразведке и сейсморазведке. Может быть, стоит сосредоточить всё внимание и силы на площадях V геотипа, которые составляют всего 2% территории и по большинству голосов прогнозистов считаются высоко перспективными.

На Куонапке алмазной – открытие новых кимберлитовых полей

Как дань памяти многим ушедшим славным геологам и геофизикам Амакинской экспедиции мне захотелось напомнить о наших поисковых работах в 1964-1966 годах в бассейне рек Большая и Малая Куонапка и Анабар, приведшим к открытию многих новых кимберлитовых полей.

В 1963 году Амакинская экспедиция приступила к серьезным поисковым работам в Анабарском алмазоносном районе. В Нюрбе шло формирование составов полевых партий. Вспоминаю с удивлением, что не возникало никаких проблем. Специалистов всех специальностей было в достатке, особенно молодёжи. В Заполярье все стремились добровольно. Наши сметы позволяли в любой момент транспортироваться к месту работ и самолетами и вертолетами.

1964 год. Здесь в устье небольшой речки Мачала (правый приток заполярной реки Анабар) расположились базы стационарной Куонапской геологоразведочной партии и сезонной Арбайбытской геофизической партии.. Работали здесь в поле молодые жизнерадостные люди: геологи – Евгений Черный, Кулунтарий Ноговицын, Сергей и Лида Лопуховы, Анатолий Крючков, Александр и Альбина Корзиловы, Альберт Андреев и Ольга Солоненко, Николай Любимов. геофизики – Георгий Балакшин, Евгений и Римма Газелериди, Юлия Плесум и Юрий Карев, Сергей Фейгенберг, Слава Сачков, Анатолий Толкач; над нами летали не менее жизнерадостные аэрогеофизики на аэромагнитной съёмке и гравиразведчики на гравиметрической съёмке – Николай Федоров, Виктор и Альбина Шаровы, Эрнест Келле.

Самым старшим по возрасту и по чину, начальникам этих партий было: С.Лопухову – 27 лет. мне – 30 лет. Все остальные – техрук К.Ноговицын, главные геологи Е.Черный и А.Корзилов, начальники отрядов и участков, старшие геологи и геофизики – все были начинающие профессионалы, недавно вышедшие из статуса «молодой специалист». Большей частью работниками у нас были выпускники московских, ленинградских, украинских и сибирских ВУЗов. Пятеро из нас (Г.Балакшин, Н.Федоров, Э.Келле, К.Ноговицын, А.Андреев) представляли местные кадры. Высокую квалификацию собравшейся команды характеризует то, что из этой когорты в дальнейшем вышли ведущие именитые специалисты алмазной геологии, в том числе пять заслуженных геологов Республики Саха (Якутия) (Г.Балакшин, Е. Черный, С.Лопухов, Н.Федоров, Э.Келле), два заслуженных геолога России (Е.Черный, А.Крючков), пять лауреатов Государственной премии (К.Ноговицын, Е.Черный, А.Крючков, А.Корзилов, Г.Балакшин, из них К.Ноговицын – дважды лауреат, Е.Черный – трижды лауреат); многие из нас известны в истории алмазной геологии как успешные главные геофизики, главные геологи, начальники экспедиций и партий ПГО «Якутскгеология и АК «АЛРОСА».

По четкой организации полевых работ, по скорости и качеству выполняемых съёмок и маршрутов, по эффективности и результативности поисков – эти наши работы могут служить примером высокоэффективного проведения комплекса геолого-геофизических методов. Здесь аэрогеофизики заранее передавали нам свои аэромагнитные аномалии трубчатого типа, геофизики-арбайбытцы срочно находили и оконтуривали эти аномалии на земле, геологи-куонапцы быстро выполняли заверку аномалий шурфами и буровыми скважинами, своевременно обогащали руду на фабриках и в итоге открывали кимберлитовые трубки. В свою очередь геологи по шлихам

выделяли наиболее перспективные участки, где геофизики проводили площадные съёмки, выделяли дополнительные магнитные аномалии и цикл заверочных работ снова стремительно повторялся. Благодаря молодому задору и кипучей энергии наших коллективов все хозяйственные и технические вопросы решались как бы сами собой.. Для транспортировки и передвижений отрядов круглогодично использовались олени из поселка Джелинды, иногда – вертолёты из далекой Нюрбы, а также летом – моторные лодки, зимой – вездеходы.

Полевой сезон у геофизических отрядов был максимально протяженным. В марте мы вылетали на Анабар спецавиарейсами, получали олений транспорт для перевозки грузов, магнитную съёмку по снегу выполняли на лыжах, спали в палатках, отапливаемых железными печками. Летом выполняли основную, наиболее трудоёмкую, часть полевых работ. С наступлением зимы (обычно к 7 ноября, к празднику Великого Октября) возвращались домой.

Геологический результат проведенных нами и Куонапской партией работ был очень высок : только по отчетам нашей Арбайбытской партии за три года аэромагнитной съёмкой закрыта площадь в 45 500 кв км, наземной съёмкой – 820 кв км, было выявлено 480 магнитных аномалий, предложено для заверки 240 аномалий, все 240 заверены горно-буровыми работами, все пробы обогащены, открыто 80 кимберлитовых и 79 карбонатитовых трубок (в том числе 5 кимберлитовых трубок открыты впервые на кристаллическом фундаменте среди архейских метаморфических пород).

А всего за период 1964-1969 гг. (по данным С.А.Прокопьева, завершавшего эти работы) в Анабарском алмазоносном районе было открыто 227 кимберлитовых трубок, в том числе 18 алмазоносных трубок. На геологических картах в результате появились новые кимберлитовые поля: Ыарга-Номохтоохское, Куонапское, Дьукен-Лучаканское и другие. К сожалению для нас и для жителей Оленекского района, алмазоносность трубок этих полей оказалась низкой. Не наша вина, что среди них не оказалось ни одной промышленно-алмазоносной. Это таковы загадки природы, которая не любит быстро открывать свои тайны. Но лично я уверен, что здесь на Анабарском щите ещё будут найдены богатые алмазные месторождения. Помню, что в 1964 году Александр Корзилов, найдя красивейший 10-каратный кристаллик алмаза на речке Талахтах (это правый приток реки Анабар, где сейчас ведется разработка алмазной россыпи), сказал: «Здесь на Анабаре будет открыто коренное месторождение с самыми высококачественными алмазами в мире».

Удивительно, что эти годы напряженного труда вспоминаются как безоблачные и радостные дни. Это потому, что мы были дерзко молоды, что работали мы дружно, с энтузиазмом, с полным взаимопониманием и взаимопомощью; работали в красивейших, просто райских, местах оленекского Заполярья, где не переставали восхищаться необыкновенно чистой и прекрасной природой. А природа была поистине первозданной и необычной: лесотундра, прозрачноводные реки Куонапки и Анабар, скалистые берега и узкие долины притоков, обилие тайменей и хариусов, фантастически быстрая смена и погоды и времен года. Несметные полчища комаров, досаждавшие летом, и морозные ночи, пробиравшие до костей в палатках ранней весной и поздней осенью, уже вспоминаются как экзотика. В дождливые вечера и в редкие дни отдыха нас сближала наша геологическая песня.

Эти куонапские-анабарские годы труда и друзья-соратники тех лет – не забываемы.

*Сколько было здесь открытий века...
В них труда частица наша есть.
В этом назначенье человека,
В этом наша доблесть, наша честь.*

ЧАСТЬ III. ВОСПОМИНАНИЯ,
НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫЕ И
ЛИТЕРАТУРНЫЕ ПРОИЗВЕДЕНИЯ



Никулин Иван Иванович родился в г. Ефремове Тульской области. В 2004 году окончил Геологический факультет Воронежского государственного университета, защитив диплом по тематике железистых кварцитов и рудогенного метасоматоза. Сразу же на защите диплома получил приглашение на работу по специальности в ЯНИГП ЦНИГРИ (г. Мирный, Якутия) под руководство проф. Н.Н. Зинчука. В 2009 году успешно защитил кандидатскую диссертацию по тематике кор выветривания кимберлитов и россытей Средне-Мархинского района Западной Якутии. В 2010 году приглашен в качестве участкового геолога на опытно-промышленный рудник "Большеотроцкий" (г. Белгород). На Большеотроцком руднике происходил пуск

первых гидродобычных скважин диаметрами 600 и 800 мм для добычи рыхлых мармитовых руд с глубин более 600 м из коры выветривания железистых кварцитов. Зарекомендовав себя с положительной стороны, в 2010 году И.И. Никулин назначается главным геологом компании ООО "БГДК". Компанией приобретаются лицензии еще по нескольким месторождениям, на под которые им разрабатываются критерии обнаружения локализаций богатых железных руд, пригодных для скважинной гидродобычи (СГД). С 2011 года автор занимается разработкой теоретических расчетов геологически благоприятных факторов локализации богатых железных руд по всей КМА при тесном содействии с Воронежским гос. университетом и Белгородским национально-исследовательским университетом. С 2013 года работает главным геологом в ЗАО «Уралалмазе», под его руководством геологический отдел из 56 человек сопровождают горные работы на четырёх карьерах и геологоразведкой на двух участках Вишерского алмазоносного района. В 2017 году принята к защите диссертационным советом МГУ Д 501.001.62 докторская диссертация по тематике, связанной с рудами палеокор выветривания и их пригодности к добыче методом СГД.

И.И. Никулин

ВЫСОКОГЛУБИННАЯ СКВАЖИННАЯ ГИДРОДОБЫЧА РУД ИЗ ПАЛЕОКОР ВЫВЕТРИВАНИЯ И ИХ ПРОДУКТОВ ПЕРЕОТЛОЖЕНИЯ (БЕЛГОРОДСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Аннотация

В основных направлениях экономического развития страны обеспечение минерально-сырьевой базой является одной из главных задач. Не один десяток лет большое количество месторождений стоит на госбалансе, но не востребовано из-за сложных горно-геологических условий, не подходящих для разработки традиционными методами (карьерным или шахтным способами). Помимо этого, большая часть запасов руд находится в густонаселенных и пахотных чернозёмных районах. Это же относится и к малым месторождениям закрытых территорий, в которых сосредоточены промышленные концентрации полезного компонента. Развитие новых технологий добычи и их апробация на опытно-промышленных рудниках позволяет по-другому взглянуть на перспективу горной индустрии. Одной из таких технологий является скважинная гидродобыча (СГД). Инновация СГД заключается в том, что он представляет собой способ дистанционной подземной разработки месторождений через скважины, при котором твёрдые рыхлые полезные ископаемые переводятся в состояние рудной пульпы, способной к транспортировке на дневную поверхность. Затем рудная пульпа транспортируется на любое расстояние по магистральным трубопроводам до склада перерабатывающей фабрики. Убедительным примером является опытно-промышленный рудник «Большеотроцкий» в Белгородской области, который достиг

уровня добычи гематитовой руды в 50 тыс. тонн в год с каждой геолого-технологической скважины с глубин более 600 м.

Проблематика

Современное развитие бизнеса в освоении недр заставляет по-иному взглянуть на традиционные способы добычи полезных ископаемых. Прежде всего, приходится учитывать: а) сжатые сроки (в связи с экономическими условиями) для изучения и освоения месторождения; б) условия локализации рудной толщи (особенно в чернозёмных регионах) и в) современные эколого-экономические требования в горнодобывающей промышленности. Экспериментальные работы 1988 года по скважинной гидродобыче (СГД) богатых железных руд (БЖР) на Шемраевском месторождении были итогом тесного скоординированного сотрудничества производственных и научно-исследовательских коллективов. За короткое время, анализируя ранее выполненные работы по СГД фосфоритов и других материалов, удалось разработать концептуальные положения, теоретические посылки, подготовить опытный полигон, сконструировать и изготовить гидродобычные снаряды, добыть первую тысячу тонн гематитовой руды с глубин до 800 метров. Однако на значительную по добыче и устойчивую работу экспериментальное предприятие так и не вышло. В результате получены важные научные знания и практические результаты, сформулированы подходы и направления дальнейших исследований, которые очень сильно претерпели усовершенствования уже на Большетроицком месторождении за период 2007-2012 годы. В связи с этим на Большетроицком месторождении богатых железных руд в 2007 году произведен первый пуск геолого-технологической скважины диаметром 630 мм. Геолого-технологическая скважина производила добычу методом СГД рыхлых мармитовых руд со средней плотностью 5,6 г/см³ с глубины более 680 м. Добыча проводилась без применения щелочей, а в качестве источника воды для рудной пульпы в эксплуатационный цикл задействовалась вода из самого рудного горизонта [1, 3].

На примере опыта добычных работ на Шемраевском месторождении [315, 321] для разработки Большетроицкого месторождения БЖР отдано предпочтение в сторону метода подземной скважинной добычи. Главными факторами, взятыми за основу при выборе метода добычи богатых железных руд, являются:

Обводнённость толщи вмещающих пород и рудной залежи при разработке подземным способом требует выполнения сложных мероприятий по её осушению.

Содержащиеся в рудном теле прослои пустых пород, некондиционных БЖР и кварцитов, представленных скальными включениями, требуют при традиционном способе разработки предварительного рыхления их буровзрывным способом.

Метод подземной добычи через скважины, при котором руда выдаётся в виде рудной пульпы, позволяет осуществлять её транспортировку гидротранспортом, а разрушенные пустые породы, поднятые на поверхность, возможно вернуть в подземную добычную камеру (обратно в недра).

Применение технологии подземной скважинной добычи в промышленных масштабах предполагает возможность компенсации выбывающих мощностей действующих карьеров горно-обогатительных предприятий России за счет освоения глубоко залегающих железных руд в бассейне КМА методом подземной добычи через скважины.

Учитывая, что запасы глубокозалегающих месторождений богатых железных руд Белгородского рудного района КМА находятся практически на не доступной глубине для открытого способа отработки (500–1000 м), а возможно только двумя способами – подземной добычей через скважины или шахтным. При этом подземная добыча через скважины имеет ряд наглядных преимуществ перед шахтным способом отработки:

ВЫСОКОГЛУБИННАЯ СКВАЖИННАЯ ГИДРОДОБЫЧА РУД ИЗ ПАЛЕОКОР ВЫВЕТРИВАНИЯ И ИХ ПРОДУКТОВ ПЕРЕОТЛОЖЕНИЯ (БЕЛГОРОДСКАЯ ОБЛАСТЬ)

сжатые сроки строительства и пуска предприятия за один–два года; минимальные капитальные вложения; себестоимость 1 тонны товарной руды; годовые эксплуатационные расходы; рентабельность к фондам.

Метод скважинной добычи высококачественной железной руды оказывает наименьшее влияние на окружающую среду (близрасположенные поселения, посевные поля с чернозёмом, лесонасаждения).

Затраты экологического характера по предприятию, ведущему отработку методом скважинной добычи, будут в основном связаны с платой за недра и локальные выбросы, которые весьма незначительны. Следовательно, и затраты в будущем по этим статьям расходов будут минимальные.

На начальном этапе проводилась добыча по обычным техническим требованиям (по Аренсу В.Ж., 1976, 1995; Дмитриеву Г.П., 1991): субвертикальная добычная камера, вертикальный подвижный добычной инструмент, не менее 75 атм. газово-жидкой струи. Систематичные наблюдения и сравнительный анализ с керном из геологоразведочных скважин естественным образом требовали изменения технологии.

После извлечения из камеры 5-8 тыс. т руды рыхлых руд происходит обрушение её кровли. Прочный обломочный материал в таких случаях перекрывает доступ в камеру и разрушает находящееся там скважинное оборудование. Этим объективно ограничивается продуктивность отдельных горизонтов и скважин, которая не могла превышать 20-25 тыс. т. Кроме того, неуправляемые процессы самообрушения поставляют руду на забой неравномерно, а её приток прекращается в периоды временной устойчивости стенок камер. Следовательно, гидродинамические процессы, происходящие при гидродобыче, и достигнутые параметры откачки, на которые была ориентирована классическая концепция разработки, можно считать недостаточными для эффективной дезинтеграции рудных масс и высокой производительности системы, без специальных физических воздействий на рудную залежь.

Воздействие мощных газово-жидких струй в добычной камере, являющейся по своей природе древним водным резервуаром, является высоко-энергозатратным эксплуатационным приёмом и сомнительно эффективным. Работы по очистной выемке руды в добычных скважинах, вскрывающих рудное тело мощностью 120-200 м на глубине свыше 600 м от дневной поверхности, показали, что в вертикальных добычных скважинах формирование очистной камеры с заданными параметрами, с применением гидромониторного размыва их стенок возможны только при её горизонтальном сечении не более 1,5-1,8 м, а при сечении более двух метров разрушающее воздействие гидромониторных струй в затопленном пространстве на глубине 600-700 м от поверхности минимально и осуществляется с затуханием до почти полного прекращения дезинтеграции руды. Изменение в объёме от 100 до 500 м³/час и при давлении воды от 5,0 до 10,0 МПа, подаваемой на сопла гидромонитора, практически, в выше названных условиях, не оказывают заметного влияния как на объёмные, так и на качественные показатели очистной выемки. Проводимые опытно-экспериментальные добычные работы показали, что применение гидромониторных струй в затопленном пространстве для отбойки железной руды не рационально, т.к. её эффективное действие распространяется не более одного метра, при этом на сопла гидромонитора необходимо подать не менее 150 м³/час воды при давлении более 5,0 МПа, что является одним из самых затратных технологических приемов.

Необходимость перехода от пассивных к активным способам работы с рудным массивом стала очевидной.

Результаты

Прикладным направлением исследования рудных палеокор выветривания является разработка критериев оптимальной расстановки добычных скважин. В

пределах Большетроицкого месторождения и Хохловского участка Гостищевского месторождений производились опытно-экспериментальные эксплуатационные работы методом подземной скважинной добычи (СГД), который позволяет извлекать слабо сцементированные богатые руды из-под мощного (~500 м) осадочного чехла (рис. 1). Осадочного чехол представляет собой снизу-вверх: нижнекаменноугольные отложения (визейские) средней мощностью – 64 м, средне- и верхнеюрские образования – 138 м, меловые – 242 м, палеогеновые – 22 м и четвертичные отложения – 8 м. В подошве визейские отложения представлены доломитами, плавно сменяющимися сидеритами. Сидеритизация охватывает кровлю рудной залежи и плавно вниз по разрезу сменяется гематитовыми (мартитовыми и железослюдковыми) рудами.

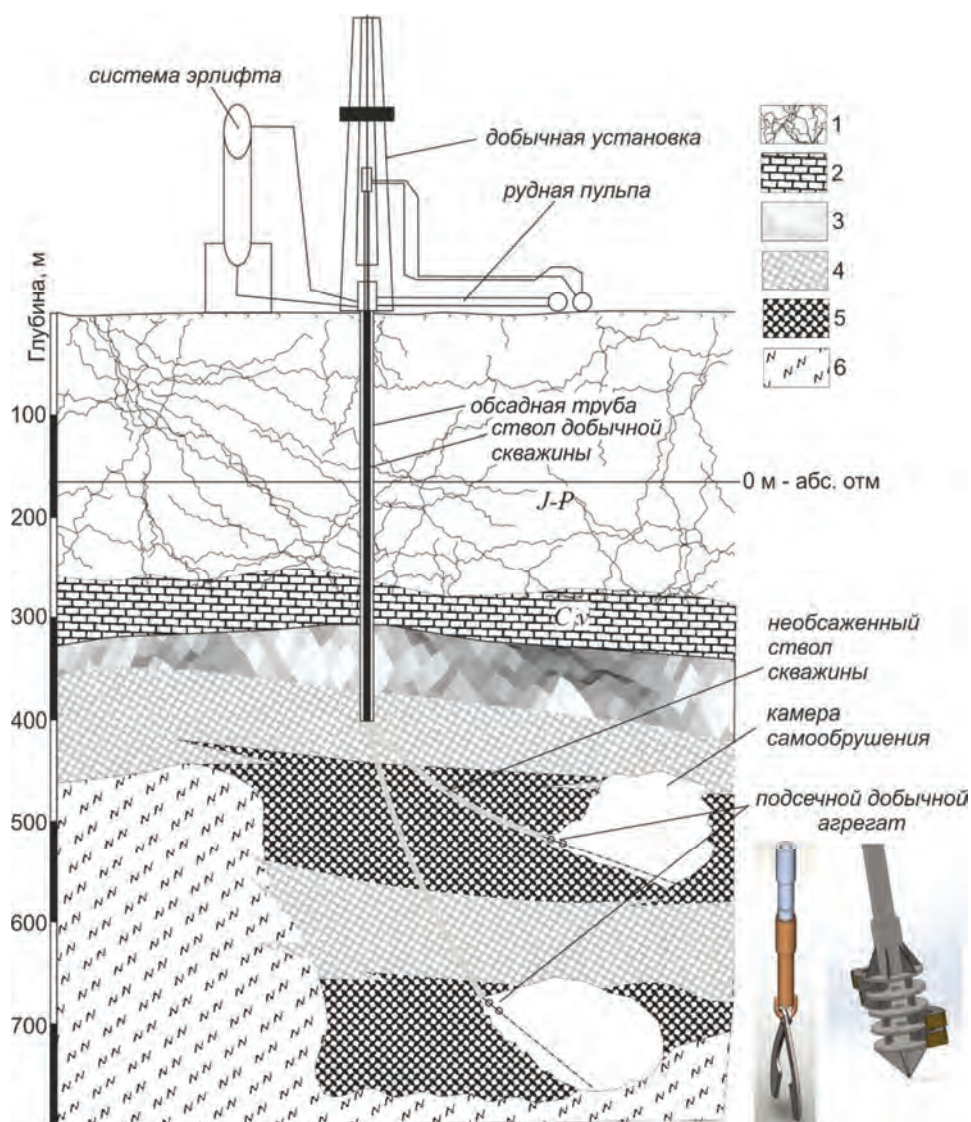


Рис. 1. Принципиальный геолого-технологический разрез: 1 – осадочные породы юра-палеогенового чехла; 2 – визейские карбонатные отложения; 3 – сидеритизированные БЖР палеокоры выветривания; 4 – сцементированные и тонкодисперсные БЖР палеокоры выветривания; 5 – рыхлые гематитовые БЖР палеокоры выветривания; 6 – докембрийские железистые кварциты курской серии.

Поставленная задача может быть решена только при учете всех факторов, определяющих формирование и освоение залежей богатых железных руд. Выявление и изучение признаков наиболее благоприятных пластов в теле всей рудной залежи, обоснование их положения в пространстве и определение направления рентабельного освоения залежей богатых железных руд. Выделены следующие критерии, которые рекомендуется учитывать при заложении новых технологических скважин и в целом при проектировании новых рудников в столь же сложных геолого-технологических условиях [4]:

1. Стратиграфический. Бронирующие от обрушений при добыче БЖР породы осадочного чехла характеризуются приуроченностью к определенным стратиграфическим горизонтам. Предпочтение должно отдаваться массивному визейскому доломитовому горизонту (C_1v). Наличие карбонатного «панциря» мощностью не менее 30 м над рудной толщей позволит избежать обрушение. При соблюдении фактора «панциря» из одной очистной камеры возможно добыть до 65 тыс. т.
2. Структурно-тектонический. При разработке рыхлых, субгоризонтальных пластов руд ведущее значение приобретают локальные рудоконтролирующие структуры. Залежи рыхлых БЖР часто располагаются в участках сопряжения локальных структур, в пачках пород, контрастных по физико-механическим свойствам. Добычные (технологические) скважины должны конструироваться, отступая на расстоянии около 20-30 м от взбросово-сбросовых структур. Виды скважин: вертикальные и трехазимутальные (наклон стволов противоположно от тектонической структуры; наклонные стволы скважины, взаимопротивоположные друг от друга по простиранию структуры). Расположение их в таком порядке в значительной степени увеличивает дебет рудной пульпы за счёт самообрушений внутри рудной толщи.
3. Литолого-фациальный. Закономерности формирования рыхлых БЖР охарактеризованы в определенных фациальных обстановках. Подавляющее большинство этих БЖР обычно локализовано в линейных палеокорах выветривания и породах, слагающих карсты, где были проявлены наиболее благоприятные факторы для мощного рудообразования. Две геологоразведочные скважины должны быть на расстоянии не более 50 м и обеспечиваться двумя необходимыми условиями: 1) общим пластом рыхлых руд 2) кровлю которых должны слагать визейские доломиты и массивные сидеритизированные руды.

В результате минеральных [4, 6] и физико-механических исследований БЖР выделены технологические сорта БЖР (таблица 1): 1) мартит-железнослюдковые сцементированные, скальные, полускальные, плотные; 2) мартитовые, железнослюдково-мартитовые, полускальные с маломощными прослоями скальных и рыхлых; 3) мартитовые, железнослюдково-мартитовые, рыхлые с редкими прослоями полускальных и скальных и 4) магнетит-железнослюдково-мартитовые, мартит-гётитовые сцементированные, полускальные реже рыхлые.

Для учета выше перечисленных критериев в постановке геологоразведочных работ следует применять следующие подходы:

1. Проведение на первом этапе геологоразведки геофизических (локальные сейсмические) работ для определения контуров подошвы богатых руд по материнским породам и выделении резких тектонических нарушений – наиболее благоприятных для отработки руд методом подземной скважинной добычи.
2. Сеть разведочных скважин должна быть приближена к квадратной и не реже 200х200 м. Это позволит в самом начале работ определить наиболее перспективные участки для отработки (добычи) руд и общие характеристики рудной толщи.

3. Наиболее перспективными участками для отработки руд на этом этапе следует считать по: а) водоносности рудной толщи; б) физико-механическим свойствам руд и в) минерально-петрографическим характеристикам с содержанием $Fe_{общ.} > 60\%$.
4. Второй этап заключается в сгущении буровой сети до 50х50 м на наиболее перспективных для отработки участках. Это позволит чётко сформулировать технологический режим добычных работ относительно чрезвычайной переменчивости руд в разрезе и по простиранию, а также учесть и своевременно локализовать скальные и весьма тонкозернистые руды.

Данные геологоразведочных работ подразумевают получение и дальнейшую обработку огромного массива данных. Помимо мощности рудной залежи, для первоочередной отработки следует оперативно отбраковать наиболее перспективный блок.

Проведение большого количества силикатных анализов (более 10000) во время поисковых и геологоразведочных работ, а также эксплоразведочных могут оперативно и в кратчайшие сроки анализироваться методом самоорганизующихся карт Кохонена (СОК) для выполнения сравнительного экспресс-анализа литологии БЖР [5]. Этот алгоритм самообучаемой нейронной сети с высокой точностью позволяет регулировать очередность технологических работ, связанных с повышением качества добычи полезного ископаемого. Вычисления неявно схожих характеристик химического состава проводились по каждой скважине в общей совокупности литологии БЖР: 1) $Fe_{общ.}$; 2) Fe_2O_3 ; 3) FeO ; 4) SiO_2 ; 5) Al_2O_3 ; 6) P_2O_3 ; 7) п.п.п.; 8) CaO ; 9) MgO ; 10) MnO ; 11) $S_{общ.}$; 12) TiO_2 . Обучающим материалом для искусственных нейронов использовались $RO+R_2O$, R_2O_3 и результаты химического анализа скважины 28Р, в которой самое большое количество $FeO_{общ.}$ и больше 80 % рыхлых гематитовых тёмно-синих пород. Затем, на основании полученных карт в автоматическом режиме производилась кластеризация по типам пород с выносом результатов на разрез (рис. 2).

На разрезах, построенных самоорганизующимися картами видно, что макроскопически границы пород часто разделены неточно. Некоторые рудные пласты охарактеризованы неточно и отнесены к другой разновидности. Зачастую, разновидности слоистых слабосцементированных мармитовых пород приняты за гематитовые сланцы и тому подобное.

Таблица 1. Показатели физико-механических свойств руд Большетроицкого месторождения*.

	Сопр. по сжатию, МПа	Влаж- ность, %	Уд. вес *104 н/м3	Объемн . вес *103 кг/м3	Порис- тость, %	Сцеп- ление , Мпа	Угол внутр. трения , град	Модуль упругости , *1010 Па	Коэф. Пуассон а
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	10,4–60,5	3,7–	4,05–	3,24–3,9	19,4–	1,2–	35–41	2,2–2,9	0,2–0,25
2	1,2–8,7	7,0–	4,5–	3,0–3,9	26,2–	0,45–	33–44	1,9–2,4	0,24–
3	0,0–7,5	9,1–	4,5–	2,7–3,9	33–52	0,17–	29–33	1,8–2,4	0,22–
4	3,8–25,0	3,7– 12,8	3,8– 4,8	2,55– 3,75	25,0– 36,0	–	30–44	–	0,1–0,14

*Анализы выполнены в лаборатории инженерной и прикладной геологии БелГУ.

ВЫСОКОГЛУБИННАЯ СКВАЖИННАЯ ГИДРОДОБЫЧА РУД ИЗ ПАЛЕОКОР ВЫВЕТРИВАНИЯ И ИХ ПРОДУКТОВ ПЕРЕОТЛОЖЕНИЯ (БЕЛГОРОДСКАЯ ОБЛАСТЬ)

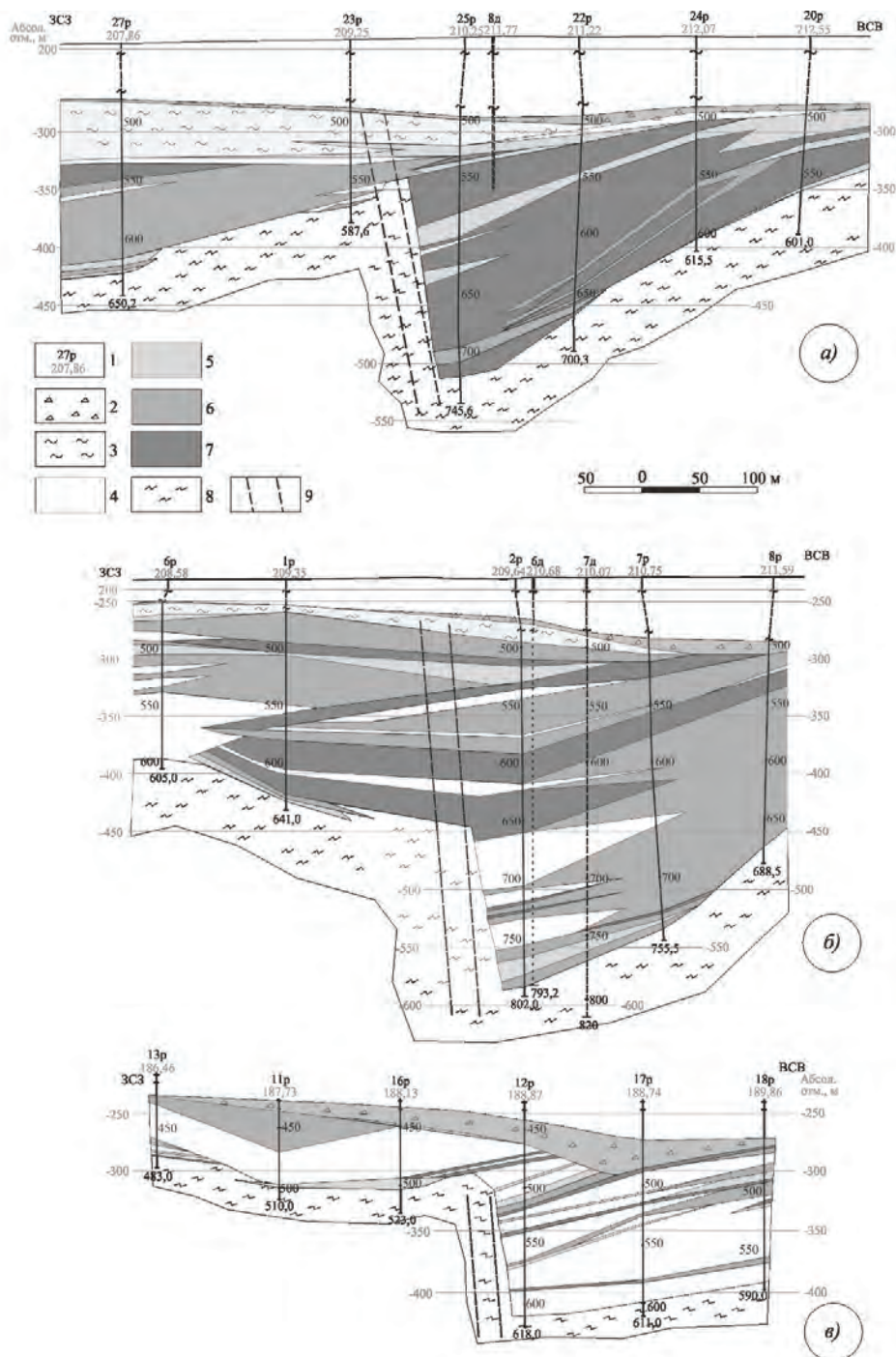


Рис. 2. Разрезы рудных залежей по пересчётам химических анализов методом самоорганизующихся карт Кохонена: а) разрез по профилю V+400; б) разрез по профилю V; в) разрез по профилю V-400; 1 - номер скв./абс. отн., м; 2 - делювиально-пролювиальные отложения; 3 - сильно выветрелые филлитовидные сланцы; 4 - первый тип пород (см. в тексте); 5 - второй тип пород; 6 - третий тип пород; 7 - четвёртый тип пород; 8 - окисленные кварциты; 9 - тектоническое нарушение

Балашовым А.Г. разработан ряд специального добычного инструмента, способного для осуществления двух принципиальных функций. Во-первых, доставка инструмента в забой скважины без затруднений. Во-вторых, раскрытие добычного агрегата для воздействия на рудный массив путём вращения. Далее для эффективной работы нового механического добычного инструмента созданы: 1) классификация геолого-технологических типов богатых железных руд и 2) геотехнологическая карта на основе уточненных данных по геологии и структуре рудных массивов, выявленных закономерностей размещения в пространстве разновидностей руд.

Определяющими классификационными характеристиками руд, пригодных для СГД приняты: способность сыпучести рудной массы, способность самообрушения и возможная необходимость специальной рудоподготовки. К пригодным для СГД отнесены разновидности руд, которые (в естественном состоянии или после предварительного разуплотнения в результате порового насыщения) способны дезагрегировать в процессах обрушения, продвижения к забою и пульпообразования. Предлагается определять руды по следующим геотехнологическим типам: 1) самообрушающиеся руды; 2) принудительно сдвигаемые руды; 3) предварительно разуплотняемые руды; 4) скальные руды.

Самообрушающиеся руды. Сдвигание таких руд начинается за счет гидродинамических воздействий, возникающих в очистной камере при работе подсечного инструмента, формирующих движение рудной гидросмеси и далее откачивающих рудную пульпу. Извлечение руд приводит к образованию камер, которые по форме приближаются к "сдутому воздушному шару". Предельные размеры камер зависят, в основном, от мощности отрабатываемого горизонта и устойчивости перекрывающих горных пород. К этому типу относятся маритовые, железнослюdkово-маритовые, рыхлые с редкими прослоями полускальных и скальных.

Принудительно сдвигаемые руды. Требуют для обрушения специальных физических воздействий на стенки камер. Форма и размеры камер определяется техническими возможностями, принятой системой разработки и устойчивостью потолочин. Это хорошо сцементированные руды, которые образуют выдержанные горизонты, не затронутые или слабо затронутые наложенной цементацией. К этому типу относятся магнетит-железнослюdkово-маритовые, мартит-гётитовые рыхлые.

Предварительно разуплотняемые руды. Нуждаются в предварительном физическом разрушении (ослаблении) межзерновых связей для последующего обрушения и измельчения в добычных камерах. Это руды, образовавшиеся на месте залегания горизонтов железистых кварцитов с повышенными содержаниями силикатов. К этому типу относятся магнетит-железнослюdkово-маритовые, мартит-гётитовые сцементированные, полускальные. После разуплотнения они могут отрабатываться так же, как два первых типа. При проектировании очистных камер следует учитывать, чтобы этот тип руд сопровождался по площади не менее трети самообрушающимися рудами.

Массивные сильно сцементированные руды. Характеризуются относительной изотропностью и гомогенностью. При физических воздействиях разрушаются по ослабленным плоскостям (трещины, кливаж, слоистость и т.п.) с образованием прочного кускового материала. Не пригодны для образования рудной пульпы, но важно необходимы для добычи методом СГД как формирующие надрудные панцири и межкамерные целики.

Предложенную ранее систему добычи (по Британу, Гостюхину, Колибаба, Лейзерович, 1988-2007) следует признать устаревшей. Создание в скважине специальных очистных полостей гидромониторными струями, из-за отсутствия приборного и визуального обеспечения, слабо контролируемого по причине возможного наличия в рудной толще крепких кусков или пропластков, что приводит к неуправляемому, слабо

ВЫСОКОГЛУБИННАЯ СКВАЖИННАЯ ГИДРОДОБЫЧА РУД ИЗ ПАЛЕОКОР ВЫВЕТРИВАНИЯ И ИХ ПРОДУКТОВ ПЕРЕОТЛОЖЕНИЯ (БЕЛГОРОДСКАЯ ОБЛАСТЬ)

прогнозируемому процессу очистной выемки и ожидаемому, а не плановому производству объемов руды.

Применение камерно-столбовой системы разработки с самообрушением руд [1] позволяет осуществлять переход к использованию низконапорных насосов (с увеличенной наработкой на отказ), что позволяет практически полностью поддерживать внутрипластовое давление рудных вод и исключить депрессионное воздействие на околоскважинные уровни воды и их смешивание. Система эрлифта и наклонных добычных скважин стала позволять использовать не более 45 атм. газово-жидкой смеси, формирующей в забое рудную пульпу. При выявлении пуска процесса самообрушения и его развития вокруг геолого-технологической (добычной) скважины наблюдается повышение плотности рудной пульпы по экспоненте. Затем на следующей стадии процесс стабилизируется, изменяясь только из-за смены крупной фракции на более мелкую и обратно. Плавное затухание подачи пульпы связано с двумя факторами: 1) завал необсаженного ствола скважины и 2) естественное истощение запасов пригодных руд в запроектированной камере самообрушения. В итоге образуется изометричная очистная камера самообрушения (рис. 3), которая может быть заново включена в процесс эксплуатации через 2-3 месяца. Это обусловлено тем, что обнаженные пласты руд с течением времени насыщаются внутрирудными водами и снова эта часть очистного блока становится пригодной для добычи.

После анализа вещественного и качественного состава руды в отстойнике оказалось, что содержание железа в добытой руде выше на 1,5–2,0%, чем в керне. Содержание вредных примесей по отдельным элементам (в том числе SiO_2) уменьшилось почти в 2 раза. Таким образом, в процессе подъема пульпы на поверхность происходит обогащение за счёт взаимного соударения рудных частиц, отмыва сопутствующего глинистого материала и увеличение содержания $\text{Fe}_{\text{общ.}}$ до 72,0%.

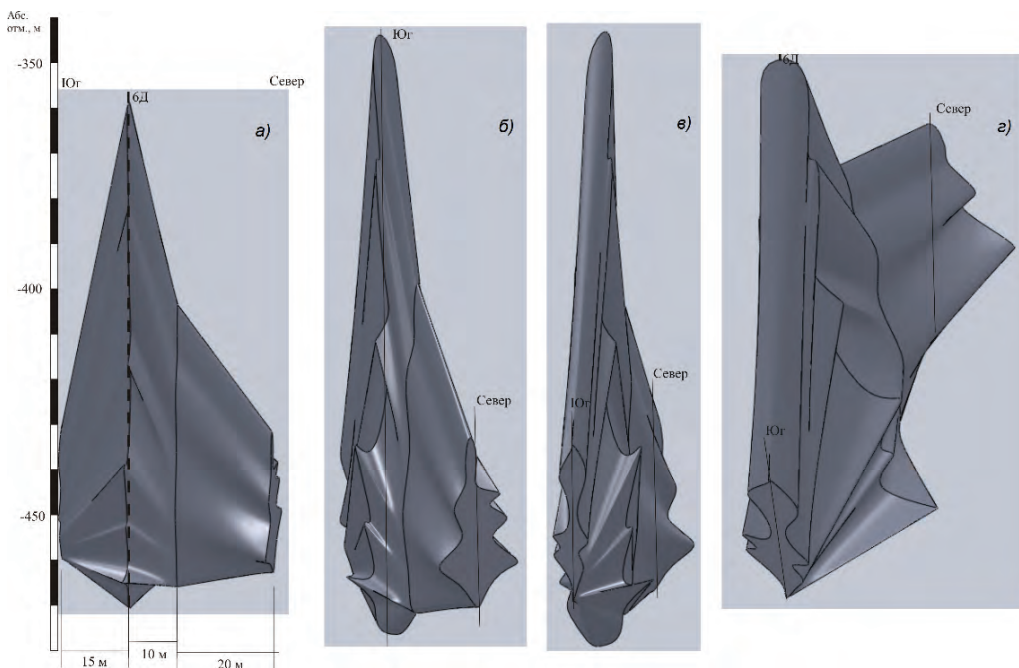


Рис. 3. Модель очистной камеры самообрушения.



Рис. 4. Промежуточный рудный склад – бассейн приёма рудной пульпы.

В результате применения совместных инновационных решений геологической и горной служб Большетроицкого рудника было налажено промышленное производство железорудного сырья, необходимого для обеспечения им конкретного потребителя в оговоренные объемы и сроки (рис. 4). Обеспечение этих условий, по нашему мнению, возможно достигнуть за счет строительства и эксплуатации наклонно-направленных добычных скважин с использованием в них специальных механических добычных агрегатов, которые создают в рыхлом рудном пласте первичную отрезную полость с неустойчивой потолочиной и дальнейшее её самообрушение в планируемых объемах.

Выводы

В качестве новой перспективной и надежной сырьевой базы могут рассматриваться глубокозалегающие месторождения рыхлых руд кор выветривания и россыпей, которые могут эффективно отрабатываться с помощью нового нетрадиционного метода скважинной гидродобычи.

Расширение масштабов добычи руд скважинной гидродобычи позволит в перспективе внести коренные изменения в технологическую структуру не только металлургического производства, но и алмазной промышленности, а также рационализировать экспортную политику отрасли.

На основе анализа опыта применения скважинной гидродобычи полезных ископаемых определены основные горно-геологические факторы, определяющие параметры технологических процессов и выбор на предпроектной стадии схемы расположения добычных установок.

Определены благоприятные и неблагоприятные горно-геологические условия залегания рыхлых руд при их разработке способом СГД.

Испытано и рекомендовано применение механического рыхления и истирания крупнообломочного материала в зоне всасывания путем перемещения снаряда в необсаженном стволе скважины, что обеспечивает стабильность всасывания и более высокую производительность подъема крупных обломков рудного материала.

Усовершенствована методика расчета эрлифта для подъема крупнообломочного материала при большой плотности рудной пульпы, что в заметной степени увеличило эффективность добычных работ и снизило затраты электроэнергии в пульпоподъемной трубе при больших глубинах подъема.

Для разработки рыхлых руд под мощным осадочным чехлом рекомендуется использовать скважинный гидродобычный агрегат с совмещением эрлифтно-гидромониторного типа.

Установлено, что при разработке мощных рыхлых залежей руд, необходимы наклонные стволы необсаженных скважин и создание камер по форме сдутого воздушного шара. Предложенная технология выемки полезного компонента из очистных камер позволяет увеличить производительность и объем добычи из скважины в несколько раз в сравнении с ранее применяемыми технологическими решениями.

Комплекс выполненных исследований позволил разработать технологию скважинной гидродобычи, максимально адаптированную к горногеологическим условиям в густонаселённых районах и создать оборудование, обеспечивающее их эффективную отработку.

Немаловажные перспективы в применении СГД - это отработка забалансовых руд и руд залегающих в целиках, обрабатывать, которые традиционными горными способами экономически не выгодно.

Литература

1. Балашов А.Г., Никулин И.И. Интеграция и инновации при освоении глубокозалегающих обводнённых месторождений богатых железных руд // Труды научно-практ. конф. "Перспективы создания новых горнорудных районов в европейской части России и на Урале", М.: ФГУП "ВИМС", 2012. С. 12–22.
2. Никулин И.И. Геологические аспекты при освоении глубокозалегающих обводнённых месторождений богатых железных руд // Науч. ведомости Белгород. гос. ун–т. Естественные науки. № 7 (160), 2013. Вып. 24. С. 148–154.
3. Никулин И.И. Критерии оценки богатых железных руд применительно к методу скважинной добычи на примере Большетроицкого месторождения КМА // Руды и металлы, Москва: ЦНИГРИ, 2011. № 3–4/2011. С. 128–129.
4. Никулин И.И. Связь богатых железных руд Курской магнитной аномалии с материнскими метаморфогенными породами // Горный информационно-аналитический бюллетень (ГИАБ), 2015. № 6. С. 294–299.
5. Никулин И.И. Сопоставление больших массивов данных химических анализов коры выветривания железистых кварцитов Большетроицкого месторождения с петрографическими данными по керну методом самоорганизующихся карт Кохонена // Материалы Российского совещания с международным участием "Геохимия литогенеза", Сыктывкар: ИГ Коми УрО РАН, 2014. С. 33–37.
6. Никулин И.И. Характеристика минерального состава богатых железных руд Большетроицкого месторождения КМА // Вестник ВГУ. Серия: Геология, 2012. № 1. С. 144–154.

Виталий Германович КУЗНЕЦОВ окончил МИНХиГП имени И.М. Губкина в 1959. Доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры литологии РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина. Специалист в области литологии и геологии нефти и газа. Автор 500 научных публикаций, в том числе 25 монографий, учебников и учебников. E-mail: vgkuz@yandex.ru

В.Г. Кузнецов
Л.В. ПУСТОВАЛОВ И Н.М. СТРАХОВ - КРУПНЕЙШИЕ
ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ЛИТОЛОГИИ XX ВЕКА

Статья посвящена анализу научных представлений двух выдающихся отечественных литологов - Л.В. Пустовалова и Н.М. Страхова. Л.В. Пустовалов является реальным автором идеи и разработки учения об осадочной дифференциации, периодичности и эволюции осадочного породообразования, геохимических фациях. Н.М. Страхов разработал учение о климатических типах литогенеза, роли организмов в осадочном процессе, бна новом, более обширном материале развил некоторые положения Л.В. Пустовалова.

Ключевые слова: осадочная дифференциация, периодичность и эволюция осадочного породообразования, геохимические фации, климатические типы литогенеза

В двадцатом столетии, а точнее с двадцатых годов этого века, когда изучение осадочных пород обособилось в самостоятельную науку, в нашей стране сформировался и продуктивно работал целый ряд крупных ученых-литологов. Достаточно вспомнить имена П.П. Авдусина, В.П. Батурина, Г.И. Бушинского, Н.Б. Вассоевича, Ю.А. Жемчужникова, А.Г. Коссовской, Б.П. Кротова, Г.Ф. Крашенинникова, Н.В. Логвиненко, Д.В. Наливкина, В.П. Петрова, В.И. Попова, Л.Б. Рухина, Я.В. Самойлова, С.Г. Саркисяна, Д.Г. Сапожникова, В.Б. Татарского, Г.И. Теодоровича, И.В. Хворовой, М.С. Швецова; список можно было бы продолжить. На этом фоне выделялись и ярко блистали две «звезды» – Леонид Васильевич Пустовалов и Николай Михайлович Страхов. Научное наследие в виде печатной продукции, в том числе переизданий (избранные труды были изданы в 1983, 1993 и 2008 годах), у Н.М. Страхова несравненно более объемно, столь же более известно это имя; больше у него учеников и последователей. Вместе с тем, используя один из афоризмов Л.А. Арцимовича «Наука не профсоюзное собрание, истина не определяется большинством голосов», интересно рассмотреть основные идеи, выдвинутые этими исследователями, их обоснованность, аргументированность, «жизнестойкость», дальнейшее развитие и т.д. Подобный анализ целесообразно провести именно с научной точки зрения, избежав по возможности политико-конъюнктурных моментов, или, хотя бы минимизировать их и отделить от собственно научных.

При этом в целях максимально возможной объективности необходимо многочисленное и обильное цитирование, как этих авторов, так и ряда других ученых.

Оба ученых начали свою научную деятельность в двадцатых годах и до 1940 г. изучали по сути дела конкретные объекты – те или иные осадочные породы и осадочные полезные ископаемые, условия их образования. При этом Н.М. Страхов написал учебник по исторической геологии, дважды в 1938 и 1948 годах переиздававшийся и долгие годы бывший основным учебником по данной дисциплине в вузах СССР [Страхов, 1938, 1948]. Создание подобного труда потребовало основательной общетеоретической базы и на ее основе обобщения и анализа широкого материала по общим вопросам геологии. Л.В. Пустовалов в эти годы (1933) опубликовал принципиальную статью о геохимических фациях и их значении в общей и прикладной геологии [Пустовалов,

1933]. Эта общетеоретического плана работа была высоко оценена А.Е Ферсманом и включена им в качестве раздела в свою «Геохимию» [Ферсман, 1955, стр. 698 – 762].

Ситуация существенно изменилась в 1940 году, когда был опубликован трехчастный учебник Л.В. Пустовалова «Петрография осадочных пород» Третья часть содержит иллюстрации – фотографии и микрофотографии обнажений и пород и, как правило, не учитывается в библиографическом описании. Показательно авторское примечание к названию этой книги: «... именно под таким названием «Петрография осадочных пород» она фигурирует в учебных планах высших учебных заведений», в то время как уместно «... именовать учение о современных и древних минеральных осадках *литологией* (выделено Пустоваловым – *В.К.*) осадочных пород, «подчеркивая тем самым не только ее описательное, но и генетическое содержание» [Пустовалов. 1940, т. 1, стр. 7]. Одновременно он подчеркнул, что «... учение об осадочных породах является ... не только описательной, но и *исторической* (выделено Пустоваловым – *В.К.*) наукой» (там же). Эта книга по признанию многих авторитетных ученых была первой работой, в которой осадочные породы рассматривались как закономерные минеральные ассоциации и где были вскрыты «...общие закономерности, которым подчинены состав, сопряженность и историческая последовательность образования осадочных пород и связанных с ними полезных ископаемых» [Щербаков и др., 1963, стр. 10]. Заведующий кафедрой литологии и геологии горючих ископаемых Уральского государственного горного университета В.П. Алексеев вообще считает, что литология как наука началась с издания этой работы [Алексеев, 2004, с. 14].

В «Петрографии осадочных пород» Л.В. Пустоваловым сформулировано несколько важных положений, ряд которых получил дальнейшее развитие и в той или иной форме вошел в фундаментальную базу науки литологии, некоторые претерпели очень существенные изменения, другие оказались неприемлемыми и полностью отвергнуты современной наукой.

С определенной степенью условности можно отметить следующие основные идеи и положения теоретической литологии, сформулированные в учебнике Л.В. Пустовалова, а частично и в более поздних работах:

- признание осадочных пород как закономерных ассоциаций минеральных, органогенных или тех и других продуктов, возникающих и существующих в термодинамических условиях земной поверхности;
- формулировка принципиальных положений науки, по сути дела создание ее теоретической основы (создание теоретической основы науки);
- учение об осадочной дифференциации вещества;
- разработка учения о стадиях осадочного породообразования и связанных с ними процессах;
- периодичность и эволюция осадочного породообразования.

Книга Л.В. Пустовалова сразу же получила высокую оценку и признание (Сталинская премия 1-й степени), но глубокий и всесторонний её анализ из-за начавшейся Отечественной войны «по горячим следам» оказался невозможным. После войны и возобновления фундаментальных, а не только прикладных научных работ стало возможным и началось более глубокое осмысление основных положений этой книги и нередко их критика.

Конец сороковых – начало пятидесятых годов прошлого века – время крупных дискуссий, увы, далеко не всегда, а чаще далеких от науки, и имевших отчетливо политико-идеологический характер. Достаточно вспомнить упомянутую биологическую дискуссию 1948 года со столь печальными оргвыводами и последствиями, чуть менее трагическую дискуссию о языкознании и др. На таком историческом фоне было принято решение провести аналогичное мероприятие с обсуждением состояния и перспективах изучения осадочных пород. Предваряя ее в 1950 – 1951 годах в журнале «Известия АН,

серия геологическая» было опубликовано 22 статьи, в которых в той или иной форме рассматривались основы науки и связанные с ними спорные моменты. В 1951 г. был издан отдельный том с дискуссионными статьями, которые по техническим причинам не могли быть опубликованы в журнале [К вопросу, 1951]. В ноябре 1952 г. состоялось Совещание по осадочным породам и полезным ископаемым, доклады на котором изданы в виде двух томов [Совещание..., 1952, 1955].

Историкам науки предстоит по архивным материалам выяснять, кто, когда и в какой форме начал подобный критический разбор, а главное – организовал публичную дискуссию. Известно, например, что в конце 1948 года Н.М. Страхов выступил с докладом в Геологическом институте АН СССР, в котором критиковал построения Л.В. Пустовалова как чисто теоретические, умозрительные и оторванные от действительности, которые расходятся с реальными геологическими фактами. По словам самого Л. В. Пустовалова (достоверность этого утверждения, к сожалению, проверить практически невозможно) в этом выступлении было отмечено, что «научные представления, в частности, учение об осадочной дифференциации, имеют «автогенетический характер» [Пустовалов, 1950, с. 94]. Вместе с тем, в статье Н.М. Страхова 1950 года, предваряющей дискуссию, это четко сформулировано: «Теория осадочной дифференциации – хочет того Л.В. Пустовалов или не хочет – приобретает черты теории седиментационного автогенеза» (цит. по [Страхов, 1983, с. 66]). Факт подобного обвинения подтвержден и в докладе Оргкомитета на Всесоюзном совещании по осадочным породам: «В начале дискуссии Н.М. Страхов охарактеризовал представления об осадочной дифференциации как «литологический автогенез», а несколько ранее публично призывал к борьбе с этими представлениями как имеющими, по его мнению, антинаучный характер» [Совещание..., 1952, вып. первый, стр. 28]. Обвинение, в свете только что закончившейся биологической дискуссии, более чем опасное.

Если отбросить чисто конъюнктурные и эмоционально-личностные моменты, то в статьях и материалах Совещания по сути дела впервые обсуждаются главные проблемы литологии с точки зрения двух школ, и в значительной степени методологические основы науки.

В последующие годы «дискуссия» фактически стала односторонней – Л.В. Пустовалов практически отошел от активной научной деятельности (исключение – работа и публикация 1956 г. – см. ниже), в то время как Н.М. Страхов и его школа активно работали. При этом были получены новые важные материалы, сделаны крупные научные обобщения и трехтомник Н.М. Страхова «Основы теории литогенеза» заслужено был удостоен Ленинской премии – высшей награды того времени. Тем более интересно, насколько новые идеи и результаты опровергают или подтверждают высказанные ранее основные положения.

Не ставя задачу анализа самого Совещания и развернувшейся на нем дискуссии полезно воспользоваться ее материалами, а также позднейшими публикациями, для анализа отмеченных выше проблем.

Показательно, что основная тематика дискуссии во многом сконцентрировалась на сформулированных Л.В. Пустоваловым положениях – осадочной дифференциации, периодичности и «поступательного развития осадко- и породообразования, связанного с общим развитием Земли» [Совещание..., 1955, вып. 2, стр. 156], а также методологических проблемах.

Одним из важнейших, и уж тем более известных положений Л.В. Пустовалова, было введение понятия о поверхностной осадочной (седиментационной) дифференциации вещества [Пустовалов, 1940, т.1, с. 253 - 297] и этой проблеме на Совещании было уделено много внимания.

Впервые концепция дифференциации была доложена на 1 заседании постоянной комиссии по осадочным породам при Московском обществе испытателей природы в феврале 1938 г. В 1940 г на эту тему им была опубликована небольшая статья и в том же году подробно рассмотрена в известном учебнике [Пустовалов, 1940а, б].

Сам Л.В. Пустовалов и все последующие авторы, так или иначе касающиеся осадочной дифференциации, отмечали, что начало рассмотрения проблемы разделения вещества в осадочном процессе связано с именами В.М. Гольдшмидта и А.Е. Ферсмана. (Л.В. Пустовалов указывает ещё работы В.П. Батурина по обломочным отложениям). Но именно Л.В. Пустовалов привлек внимание, обосновал применимость и, главное, важность дифференциации в осадочном процессе.

Суть положения Л.В. Пустовалова заключается в том, что по мере транспортировки осадочного материала происходит разделение первоначально «гетерогенной» субстанции и последовательное осаждение более «чистых», однородных, «гомогенных» компонентов, причем разделение это происходит закономерно и по разному для материала переносимого в обломочной форме (механическая дифференциация) и в растворимой (дифференциация химическая). По мнению Л.В. Пустовалова вначале обе дифференциации происходят одновременно, накладываются друг на друга, «... тесно переплетаются между собою, идут как бы рука об руку; их продукты постоянно смешиваются друг с другом» [Пустовалов, 1940 б, стр. 267]; после завершения механической осадочной дифференциации «... наступает безраздельное господство химической дифференциации» (там же, стр. 268).

Представления о механической и химической дифференциации были выражены графически в виде двух простых схем дифференциации.

Механическая дифференциация заключается в разделении обломков по их «гидравлической крупности» по мере снижения энергии транспортирующей среды, или, для наиболее распространенной водной миграции – гидродинамической активности. В самом общем, практически абстрактном случае энергия транспортирующей среды сокращается от суши к конечным водоемам стока и даже к их центральным частям, однако многочисленные «исключения», обусловленные конкретными геологическими (географическими и палеогеографическими) условиями, не меняя сути положения, обуславливают специфику механической дифференциации в данных условиях обстановки осадконакопления.

Химическая дифференциация – это отдельное и последовательное осаждение растворенных веществ с образованием отдельных «чистых» осадочных пород.

Основную причину этой дифференциации в Л.В. Пустовалов видел в осаждении разных соединений при разных значениях рН. Действительно, кислотно-щелочные свойства природных сред закономерно меняются по поверхности от кислых и слабо кислых на суше (болота, эвтрофные озера) до слабо щелочных в морях и океанах и щелочных в некоторых лагунах с повышенной соленостью и содовых озерах. Ясно, что изменение рН лишь первое и самое общее объяснение и подобное изменение кислотно-щелочного режима не всегда реализуется в природе строго линейно по направлению от суши к морю.

Активно критикуя сами схемы, отмечая их схематичность (сам Л.В. Пустовалов считал, что «... необходимо выяснять реальное проявление и причины осадочной дифференциации, от которой зависит характер распределения осадочных пород и полезных ископаемых» [Пустовалов, 1950, с. 100]), ошибочность (в понимании Н.М. Страхова) в деталях, Н.М. Страхов ввел два принципиальных новшества – климат и жизнедеятельность организмов. Уже в материалах дискуссии [Страхов, 1952, стр. 191] было представлено разделение материала в виде «фациальных профилей аутигенного осадкообразования» во влажном климате и в засушливой зоне. Это было принципиально важное положение и дальнейшая разработка слишком общей и принципиальной схемы

осадочной дифференциации Л.В. Пустовалова. Оказалось, что левая ветвь его схемы реализуется в условиях гумидного климата, правая – аридного.

Второе дополнение касалось важной роли в осадочном процессе организмов. Вообще отрицание Л.В. Пустоваловым значения биоты, видимо, одна из самых крупных его ошибок, учитывая, к тому же, что он был учеником Я.В. Самойлова и «научным внуком» В.И. Вернадского, с которым, кстати, переписывался и обменивался публикациями (подробнее см. [Кузнецов, 2011]).

В своей «Петрографии осадочных пород» Л.В. Пустовалов выделил специальную главу «О роли организмов в процессах осадкообразования», где полностью «подчинил» осадкообразующую роль организмов схеме осадочной дифференциации: «... когда в каком-либо месте наступает время массового выпадения в осадок определенного продукта химической дифференциации, одновременно получают особое развитие организмы, аккумулирующие в своем теле тот же самый продукт» [Пустовалов, 1940, т.1, с. 377].

Надо сказать, что в сороковых-начале пятидесятых годов Н.М. Страхов тоже достаточно скептически отзывался о влиянии биоты на осадочный процесс. Так, относительно микробиального осадкообразования – одного из ведущих процессов биогенного осадконакопления, он писал: «... вся история вопроса о бактериальных карбонатных толщах являет в литологии пример того, как эффектная и внешне правдоподобная, но совершенно необоснованная и неверная по существу, идея, внесенная в литологию извне и ловко на первый взгляд заполняющая пробел в литологической теории, держится потом десятилетиями, тормозя прогресс науки. Сколько еще таких «мифов» царит в разных разделах литологии, нося ярлык общепризнанных истин!».

Однако позднее в связи с учением о климатических типах литогенеза он уже фиксировал важную роль организмов и, в частности, отмечал: «... химическая садка в геохимии всех трех компонентов (SiO_2 , карбонаты, фосфор – *В.К*) играет подчиненную роль и поэтому всю группу можно назвать группой типично биофильной или биогенной» [Страхов, 1963, стр. 80]. При этом биогенное осадкообразование имеет некоторую зональность. В наиболее четкой форме биогенная дифференциация охарактеризована в специальной статье Г.Ф. Крашенинников [Крашенинников, 1985а]. Замечания к его схеме [Кузнецов, 2005] лишний раз доказывают сложное и многофакторное влияние на осадочный процесс, невозможность вместить все разнообразие природных условий и процессов в прокрустово ложе одной, или даже нескольких, сколь бы то ни было детальных схем. Каждая из таких схем – это определенное и безусловно упрощенное представление природного явления, каким является осадочная дифференциация.

В дальнейшем Н.М. Страхов ввел идею «фазовой осадочной дифференциации», когда «... растворенный материал в значительной мере отделяется от взвешенного и влекомого кластического: первый практически нацело удаляется с водосборных площадей в конечные водоемы стока, второй же в значительной части своей остается в пределах этих площадей. Это обстоятельство определяет обломочную природу осадочных накоплений водосборных площадей (делювия, аллювия, пролювия) и создает возможности интенсивного формирования химико-биологических отложений в конечных водоемах стока – морях и озерах» [Страхов, 1960, стр. 39]. В подобной формулировке осадочная дифференциация – это не просто выраженное другими словами приведенное выше высказывание Л.В. Пустовалова, но шаг назад от даже схематической картины Л.В. Пустовалова. Просто механическая дифференциация резко отделяется от химической в пространстве, а разделение самого обломочного материала (механическая дифференциация) равно как и разделения растворенных веществ (химическая) не предусматривается.

Позднее фазовая дифференциация подробно рассматривалась исследовалась В.Н. Холодовым [1993, 2006, 2010]

По поводу фазовой дифференциации можно поставить ряд вопросов и высказать ряд замечаний, но сути это не меняет – сам факт разделения, дифференциации существует, признается и подтверждается, но появляются дополнительные факторы, осложняющие принципиальную картину и одновременно объясняющие причины дифференциации.

Полностью признавая правомерность и необходимость учитывать в процессах осадкообразования климатический фактор и деятельность организмов, выделение по крайней мере двух рядов осадочной дифференциации – гумидного и аридного, надо признать, что не всегда критика схемы Л.В. Пустовалова была объективной. Н.М. Страхов пишет: «Принимая идеи Л.В. Пустовалова, эти профили (построенные Н.М. Страховым – В.К.) нужно толковать как ряды последовательного изменения физико-химических свойств веществ, как смену – по мере перехода от берега к центру моря – малорастворимых неустойчивых соединений все более растворимыми и устойчивыми в растворе. В действительности же дело обстоит совсем не так. Наиболее четко это видно на профиле аридной зоны, где соотношения прямо противоположны ожидаемым. Высокорстворимые галогенные отложения накапливаются у побережий и сменяются в направлении открытого моря все более трудно растворимыми соединениями» [Страхов. 1952, стр. 208]

На первый взгляд это действительно изменение, а на самом деле подмена идеи Л.В. Пустовалова. Подмена, аналогичная той, что положена в основу критики механической дифференциации. Последняя, то есть рассортировка обломочного материала по гидравлической крупности происходит не «от берега вглубь водоема» (это частный, хотя возможно, и частый вариант), а по мере снижения энергии транспортирующей среды, что далеко не одно и то же. Аналогичная подмена предлагается Н.М. Страховым и для дифференциации химической. Он прямо указывает на переход «от берега к центру моря». На самом деле в аридной зоне (еще раз можно и важно подчеркнуть заслугу Н.М. Страхова во включении климатического фактора в процессы осадконакопления) поставка растворенного осадочного материала в прибрежные участки – заливы, лагуны (см. рис 2 статьи Страхова) и т. д. – осуществляется не с прилегающего берега, а из моря, то есть соленакопление реализуется как раз на конечной стадии миграции. В итоге, приводимый Н.М. Страховым пример *ошибки* Л.В. Пустовалова подтверждает идею последнего.

Можно также дискутировать по поводу именно лагунного происхождения соленосных толщ. М.С. Швецов [1956] указал на неправомерность крайне широкого использования этого термина вообще, а А.Л. Яншин [1961] показал, что многие древние соленосные толщи формировались в огромных, первоначально часто глубоководных бассейнах, аналоги которых, кстати, в современных условиях отсутствуют. Во всех случаях осаждение вещества происходило на конечных стадиях миграции.

Дальнейшая разработка Н.М. Страховым и его школой внесли неоценимый вклад в важнейшее положение литологии – учение об осадочной дифференциации вещества, хотя и сам термин и роль Л.В. Пустовалова в формулировке основной идеи не просто замалчивались, но категорически отвергались.

Г.Ф. Крашенинников справедливо отметил, что «Проблема поверхностной осадочной дифференциации принадлежит к числу основных в современной литологии» [Крашенинников, 1985 б, стр. 13]. Что касается ее критики Н.М. Страховым, то: «С большим сожалением приходится отметить, что в данном случае Н.М. Страхову изменило чувство объективности и им даны такие оценки фактического содержания и методической сущности представлений Л.В. Пустовалова, с большей частью которых нельзя согласиться» [Крашенинников, 1983, с. 158]. И далее: геохимическая

подвижность «на схемах Л.В. Пустовалова и Н.М. Страхова практически совпадает, т. е. по существу Н.М. Страхов подтверждает более новыми данными правильность соответствующих представлений Л.В. Пустовалова» [там же, с. 159].

По сути дела описанные выше положения были отмечены уже в Решениях Совещания: «Совещание считает, что явления осадочной дифференциации играют большую роль в образовании и распределении в земной коре осадочных пород и полезных ископаемых, и отмечает большую заслугу Л.В. Пустовалова в разработке представлений об осадочной дифференциации. Вместе с тем схема осадочной дифференциации, данная Л.В. Пустоваловым в 1940 г., как выяснилось в ходе дискуссии, не показывает изменений хода осадочной дифференциации в геологической истории Земли и в разных климатических и тектонических условиях, а также не учитывает специфической роли организмов в ходе осадкообразования» [Совещание, 1955, вып. второй, стр. 158]. В тех же Решениях в разделе об общих задачах науки об осадочных породах указано, что осадочная дифференциация входит в число основных теоретических вопросов науки [Совещание..., 1955, вып. второй, стр. 161].

Высоко оценил представления об осадочной дифференциации М.С. Швецов. «Л.В. Пустовалов, подчеркнув значение... отдельных закономерностей, объединил их в одну общую закономерность, регулирующую ход осадкообразования. Это было равносильно открытию новой важной закономерности, которая и сыграла большую роль в развитии нашей науки. Хотя в формулировке Л.В. Пустовалова эта закономерность носила упрощенный, схематический характер и представляла, как он писал, «первый рабочий набросок», она все же имела большое значение. Она подчеркнула существование закономерностей в образовании пород, дала, хотя еще и не совершенный, критерий для суждения о взаимоотношениях между породами, их родстве и месте их отложения и внесла порядок в понимание явлений, ранее рассматривавшихся без достаточно ясного представления о связях между ними» [Швецов, 1958, с. 208].

В капитальной работе по фациям академик Д.В. Наливкин отметил: «В образовании осадков ведущее значение имеют процессы осадочной дифференциации. Они разнообразны, и многие из них давно известны, но взаимосвязь их, широкое распространение и важная роль в осадкообразовании впервые полно показаны в работах Л.В. Пустовалова» [Наливкин, 1955, с. 39].

Введение в научный обиход литологов количественных показателей, позволило оценить поверхностную осадочную дифференциацию не только качественно, но в определенной мере и количественно. Так, по данным А.П. Лисицына в Мировой океан поступает с суши 92,4 % терригенного материала и только 7,6 % растворенного. Осаждение его по основным зонам океана резко различно. По периферии океанов осаждается 92,2 % терригенного, а в центральные его зоны поступает лишь 7,8 % твердого вещества. Для растворимого вещества картина противоположна. Из указанных семи с лишним процентов этого материала по периферии океанов осаждается 58 %, а 42 %, то есть почти половина выносится в пелагические области, где осаждается биогенным путем [Лисицын, 1978]. В.В. Гордеев убедительно показал, что реки – это область переноса вещества во взвеси, в то время как океан – в растворе [Гордеев, 1983, 2009]. Другими словами, происходит отчетливое разделение вещества, переносимого и осаждаемого разными способами. Подобную ситуацию предвидел и Л.В. Пустовалов, который считал, что на начальных этапах переноса механическая и химическая дифференциации происходят параллельно, накладываются друг на друга, а позднее механическая затухает, исчерпывает себя и преобладает уже чисто химическая. Другое дело, что им не совсем точно указывалось на какой стадии происходит это разделение и не учитывался биогенный механизм осаднения и дифференциации – по-видимому, как отмечалось выше, основная и самая глубокая ошибка этого выдающегося ученого.

Говоря о количественных показателях дифференциации нельзя не коснуться и еще одного момента. Количественно осадочный материал также не равномерно отлагается по всей площади бассейна седиментации, а образует определенные зоны концентрации. Наиболее четко в глобальном масштабе это проявляется в выделении трех уровней лавинной седиментации А.П. Лисицына, который показал, что основной объем обломочного материала осаждается в трех относительно изолированных друг от друга зонах очень быстрой, лавинной седиментации – устьях мощных рек, у основания континентального склона и в глубоководных желобах [Лисицын, 1988].

По сути дела, три типа зональности океанического осадконакопления, установленные и охарактеризованные П.Л. Безруковым и А.П. Лисицыным – циркумконтинентальная, широтная (климатическая) и вертикальная – это еще одно проявление дифференциации вещества в экзогенных условиях, обусловленная различными причинами.

В настоящее время ясно, что, *осадочный процесс – это глобальный, многостадийный и многоуровневый по масштабам и результатам процесс количественного и качественного разделения вещества, его дифференциации в пространстве и времени.*

Важным разделом литологии является стадийный, посвященный истории осадочной горной породы от возникновения осадочного материала до ликвидации породы в результате ее разрушения в гипергенных процессах выветривания или преобразования породы осадочной в метаморфическую при погружении на большие глубины в соответствующие термобарические условия, или при стрессовых нагрузках.

Стадийность осадочного породообразования была намечена еще И. Вальтером и, при в целом не принципиальных вариациях, сохранилась до настоящего времени. Естественно, что в учебнике Л.В. Пустовалова эти стадии, происходящие на них процессы и их результаты были в той или иной степени описаны.

Надо отметить, что учебник этот четко отражает научные интересы и самого автора – подробно излагаются те разделы и стадии, которыми он занимался, в то время как другие изложены достаточно конспективно.

Последнее, в частности, относится к диагенезу, описанию которого уделено всего 13 страниц. Тем интересней отметить одно важное обстоятельство. Рассматривая диагенетические явления, связанные с взаимодействием составных частей осадка между собой и осадка с окружающей его средой, он следующим образом сформулировал определение диагенеза: «Стадия формирования осадочной породы (раннего диагенеза или сингенеза) характеризуется взаимодействием составных частей осадка между собой и с окружающей их средой, стремящимся к установлению между ними равновесия» [Пустовалов, 1940, т. 1, с. 386].

В противоположность Л.В. Пустовалову Н.М. Страхов очень детально исследовал процессы этой стадии, и его работы по проблеме, равно как и работы руководимой им группы, стали почти классическими. Он дал иное словесное выражение определению сути этой стадии: «Этот процесс физико-химического уравнивания сложной и многокомпонентной системы реакционноспособных веществ в термодинамических условиях поверхности земной коры» [Страхов, 1960, т. 1, с. 79], подчеркнув при этом, что «впервые такое толкование его было предложено Л.В. Пустоваловым в 1940 г.» (там же).

В связи с диагенезом интересно и важно рассмотреть еще одно положение Л.В. Пустовалова – понятие о геохимических фациях. Первоначально эти представления были изложены в отдельной статье и, как отмечалось, были активно поддержаны А.Е. Ферсманом [Ферсман, 1955]. Материалы эти завершают первый том постоянно упоминаемого учебника. Несколько обширных цитат из этого издания.

«Поскольку каждому участку земной поверхности свойственны свои особенные, специфические физико-химические условия формирования осадочных горных пород, в разных пунктах зоны осадкообразования, но в один и тот же геологический момент, возникают осадочные породы, заключающие в себе различные ассоциации сингенетичных выделений и имеющие, следовательно, различную геохимическую и физико-химическую характеристику. ... Это дает возможность говорить о геохимических фациях, как современных, так и ископаемых» [Пустовалов, 1940, т. 1, с. 461 – 462]. Современная геохимическая фация, это «... часть земной поверхности, которая на всем своем протяжении обладает одинаковыми физико-химическими и геохимическими условиями накопления и формирования осадочных горных пород» (там же, с. 462). Соответственно, ископаемая геохимическая фация «пласт или свита пластов, которые на всем своем протяжении обладают одинаковой изначальной геохимической характеристикой, возникшей в результате условий образования осадочной породы и проявляющейся прежде всего в повсеместном нахождении одного и того же комплекса сингенетичных выделений, которые образуют между собою закономерные ассоциации, обусловленные физико-химическими условиями формирования породы» (там же).

Л.В. Пустовалов выделил и описал ряд геохимических фаций, основанных практически только на различии окислительно-восстановительных показателей.

При этом, сам он отмечал, что «... в этом списке, не претендующем на полноту освещения вопроса, еще много условного и недоработанного; ... он должен послужить в руках петрографов осадочников первой рабочей схемой, на основе которой в процессе дальнейшей работы можно будет создать более совершенное и глубоко обоснованное, базирующееся на многочисленных фактических данных, развернутое учение о геохимических фациях» (там же, стр. 462).

Для морских обстановок предполагалось, что различие фаций определяется положением окислительно-восстановительной границы относительно осадка: *высоко над* осадком (выделено Л.В. Пустоваловым) для сероводородной фации, *над* осадком, но близко от него – для сидеритовой и т. д.

Именно эти представления послужили основанием резкой критики самого понятия о геохимических фациях со стороны Н.М. Страхова. Изучение форм железа в осадках Черного моря «... позволяет, прежде всего, оценить влияние газового режима водоема на ход диагенетических преобразований вещества. Даже в случае мощного слоя наддонной сероводородной воды это влияние абсолютно второстепенно, и при малой же мощности ее оно вообще неуловимо. Вследствие ограниченности этого влияния парагенез железистых минералов в осадках сероводородной зоны принципиально тот же, что и в осадках кислородсодержащих водоемов» [Страхов, 1959, с. 117].

Другими словами, аутигенное минералообразование (факультативное, по сути дела аксессуарное, а не пороодообразующее) во многом происходит на стадии диагенеза, и тогда геохимические фации Л.В. Пустовалова – это геохимические обстановки диагенеза, а не седиментации. Уточнение, безусловно, очень важное, хотя и не отменяющее самой идеи геохимических фаций. К примеру, если в осадках, образованных в окислительных условиях нет органического вещества, то и после диагенеза в породах не будет восстановленных форм.

Значение диагенеза, включение в геохимические фации и этой стадии, видимо, предполагал, возможно, подсознательно, и сам Л.В. Пустовалов, поскольку писал о «комплексе сингенетичных выделений», а сингенез в его понимании в определенной степени синоним диагенеза, или, по крайней мере, включает его.

Предположение Л.В. Пустовалова о дальнейшем развитии представлений о геохимических фациях в общем подтвердилось. Так, Л.В. Пустовалов отмечал особое значение учения о геохимических фациях «... для нефтяных районов, так как наличие той или иной геохимической фации по сути дела предreshает вопрос о возможности

консервации в осадке органического вещества, могущего быть источником нефти» [Пустовалов, 1940, часть 1, стр. 470]. Сама идея оказалась весьма плодотворной, получила дальнейшее развитие и использование в работах многих исследователей [Гуляева, 1953, 1955, Лукашев, 1972, Маслов, 2005, Родионова, 1967 Теодорович, 1947, Эрнст, 1976, Юдович, Кетрис, 2000 и др.]. «Краеугольным камнем учения о геохимических фациях» назвал В.Н. Холодов мысль «о гармонии между осадком и обстановкой, в которой он образовался» [Холодов, 1993, с. 15].

«Ряд субаквальных геохимических фаций – отмечал В.Н. Холодов – сохранил свое значение и поныне, хотя его современная интерпретация потребовала внести ряд важных поправок» [Холодов, 1993, с. 15 – 16]. Он же указал, что у истоков проблем стоял именно Л.В. Пустовалов, «когда опубликовал две маленькие заметки, посвященные учению о геохимических фациях» [там же, с. 21]. Самим В.Н. Холодовым разработан метод определения сероводородного заражения древних водоемов – то есть одной из геохимических фаций Л.В. Пустовалова [Холодов, 2006, Холодов, Недумов, 1991].

По сути дела с другой, физико-химической стороны к подобным представлениям пришел Р.М. Гаррелс, создав диаграмму в координатах pH-Eh [Крамбейн, Гаррелс, 1960]. Эта диаграмма и само понятие о геохимических фациях как обстановках седименто- и диагенеза вошли в учебники [Прошляков, Кузнецов, 1981, 1991, Кузнецов, 2011].

Столь же кратко, как о диагенезе всего на 10 страницах рассмотрено «бытие осадочной породы» – стадия эпигенеза или позднего диагенеза.

К рассмотрению последней стадии он вернулся позднее. В 1956 г под его редакцией и с двумя его установочными основополагающими статьями был опубликован сборник «О вторичных изменениях осадочных пород» [О вторичных, 1956]. Если рассматривать работы фундаментального плана, то это вторая после учебника 1940 года и, к сожалению, последняя работа Л.В. Пустовалова такого рода. Дальнейшие его исследования были сосредоточены больше на прикладных вопросах изучения осадочных полезных ископаемых.

Публикация этого сборника и статьи самого Л.В. Пустовалова имели далеко идущие последствия. Прежде всего, они показали, что Л.В. Пустовалов не является закостеневшим в своих представлениях исследователем. Идеи и разработки Л.В. Пустовалова этого периода, если и не опровергли полностью его более ранние представления, то существенно их развили и, как положено в подобных ситуациях, во многом изменили.

В «Петрографии осадочных пород» 1940 года он указывал, что необходимо «признать за большинством минералов осадочных пород теснейшую причинную зависимость между их образованием и физико-химическими условиями, господствовавшими именно в тот геологический момент, когда шло накопление заключающей их породы» [Пустовалов, 1940, т. 1, с. 396]. Положение это он назвал законом физико-химической наследственности. В работе же 1956 года он показал, насколько значительными могут быть результаты процессов вторичного минералообразования. Важнее, однако, другое – была поставлена новая проблема – перейти от учения об *осадкообразовании* к учению об осадочном *породообразовании*. Показано, «...что только путем внимательного и углубленного изучения вторичных новообразований, свойственным осадочным породам, а также путем изучения вторичных структур, текстур и форм залегания, конечно, с учетом общей геологической ситуации, мы можем понять историю той или иной осадочной горной породы на протяжении длительного времени ее пребывания в земной коре» [Пустовалов, 1956, с. 4]. С этого времени с легкой руки Л.В. Пустовалова по сути дела возникло новое перспективное направление в литологии. Уже в феврале 1960 года Межведомственным литологическим комитетом было проведено трехдневное Координационное совещание, полностью посвященное стадийности осадочного породообразования, в работе которого

приняли участие представители 31 организаций страны и на котором было заслушано 11 сообщений и доклад Н.М. Страхова о задачах и методах исследований в этой области. Примерно в эти же годы прошла дискуссия о терминах, о самом названии стадии «бытия породы» и термин эпигенез был практически заменен на катагенез. С тех пор вторичные изменения осадочных пород, происходящие при этом процессы, вплоть до предметаморфических, стали активно изучаться. Появилась буквально лавина публикаций по проблеме, которая, справедливо или не очень, иногда выдвигается как одно из ведущих направлений развития литологии вообще.

Развитие идей Л.В. Пустовалова в проблеме преобразования осадочных пород рассмотрено позднее А.Г. Коссовской, одного из ведущих исследователей вторичных, в том числе предметаморфических процессов [Коссовская, 1993]

Пожалуй, одна из самых острых дискуссий на Совещании разгорелась по методологии литологических исследований, по возможностям и правомерности использования и значению так называемого сравнительного или сравнительно-литологического метода. Обсуждение этого вопроса проходило как в печати, так и на самом Совещании (учитывая время, идеологические и методологические дискуссии были не просто актуальны, но и активно поощрялись), а также и после него: продолжают они и поныне. Правда, Л.В. Пустовалов, как уже отмечалось выше, практически отошел от активной научной деятельности, и дискуссии по сути дела нет, идет «игра в одни ворота», постоянно утверждается, а по сути дела декларируется, что сравнительно-литологический метод – «единственно правильное учение».

Идея метода восходит к Ж.Л.Л. Бюффону (подробнее см Кузнецов. 2016), является основой идеологии Ч. Лайеля, а в приложении к литологии использовано И. Вальтером в виде онтологического метода, когда «... исходя из явлений современности, мы пытаемся объяснить процессы прошлого» [Walther, 1893-1894, S. XII]. Он же предложил, или, по крайней мере, использовал термин «сравнительная литология». В нашей стране это положение было высказано А.Д. Архангельским, который и использовал сам метод в своих исследованиях, а позднее разрабатывал Н.М. Страхов в виде сравнительно-литологического метода. Высказывания Л.В. Пустовалова по этому вопросу были достаточно резкими и значительной степени переведены именно в идеологическую, методологическую плоскость.

Н.М. Страхов, защищая и обосновывая необходимость и значимость изучения современных осадков и современного осадочного процесса, опубликовал специальную статью [Страхов, 1945, см. также переиздания: Страхов, 1983, 2008].

Полезно сравнить высказывания по этому принципиальному вопросу двух оппонентов. Л.В. Пустовалов: «... только в том случае, если мы учитываем историческую обстановку осадкообразования, мы можем рассчитывать достигнуть правильных и надежных результатов. Формальное же сопоставление неминуемо должно привести к грубым ошибкам» [Пустовалов, 1940, т.1, стр. 371]. Это ни в коей мере не умаляет значения исследований современных осадков, «напротив, чем подробнее будут наши знания о современных отложениях, тем точнее и увереннее мы сможем воссоздавать условия образования осадочных пород» (там же, стр. 372).

Н.М. Страхов: «Сущность сравнительной литологии как научного направления заключается в том, что: 1) в основу познания осадкообразовательного процесса кладется детальное и всестороннее изучение современного осадконакопления и присущих ему закономерностей; 2) путем сопоставления (сравнения) ископаемых осадков отдельных геологических периодов друг с другом и с современными отложениями устанавливаются черты сходства и различия древних и современных явлений седиментации и таким образом реконструируется в рамках относительной и абсолютной геохронологии эволюция осадконакопления от древнейших времен до текущего геологического

момента; одновременно вскрываются закономерности, присущие этой эволюции, и анализируется механизм, их вызывающий» (цит. по [Страхов. 1983, стр. 37]).

В популярных развлекательных изданиях для досуга в таких случаях дается задание: «найдите десять отличий». Действительно, суть в подходе обоих авторов одна и та же. Разница лишь в словесном выражении. Другими словами, вся, если можно так выразиться, «дискуссия» носила не сущностный, а отчетливо личностный характер. Не случайно, дискуссия 1950 – 1952 годов года получила в кулуарах шутливое название «пустострахия».

За вопросом о методах исследования стояло и очень важное обстоятельство – разница между *принципом* и *методом* актуализма, *возможности* и *границы применимости* метода.

Принцип актуализма (иначе – униформизм) предполагающий постоянство процессов в течение всей геологической истории на Совещании был единодушно признан не научным и отвергнут, а метод, как способ сравнения современного и древнего осадконакопления, в тех или иных пределах правомерным: «Совещание считает, что «актуализм» в понимании Лайела (униформизм), основывающийся на метафизическом представлении о постоянстве геологических процессов в истории Земли, неприемлем для советской геологической науки» [Совещание..., 1955, вып. 2, стр. 157]. В решении Совещания отдана дань обоим участникам дискуссии и одновременно указаны «ошибки» каждого из них. При этом оба ученых «признали» свои ошибки. «Метод сравнения настоящего с прошлым, являющийся обычным методом естественноисторических наук и в работах русских геологов часто обозначающийся как метод актуализма, должен быть сохранен как один из важных приемов историко-геологического исследования. Обязательным условием применения этого метода, как и других методов в литологии, является учет поступательного развития процесса образования осадочных пород в истории Земли. Совещание считает, что способ решения генетических вопросов путем сравнения разновозрастных пород между собой и древних пород с современными осадками, получивший в советской науке название сравнительно-литологического метода, является методом правомерным и в ряде случаев плодотворным, и отмечает неправильное отношение Л.В. Пустовалова к этому вопросу. Л.В. Пустовалов признал на Совещании, что он ошибочно недооценивал возможности сравнительно-литологического метода» (там же, стр. 157 – 158). «Вместе с тем Совещание отмечает ошибочность определения сравнительно-литологического метода, данного Н.М. Страховым в 1945 г. и обсуждавшегося в ходе дискуссии. Согласно этому методу, в основу теории осадкообразовательного процесса было положено изучение современного осадкообразования, и это изучение считалось ведущим разделом науки об осадочных породах. Подобная оценка роли изучения современных осадков для построения общей теории образования осадочных пород не верна, так как она не соответствует представлениям о поступательном развитии Земли. Совещание с удовлетворением констатирует, что Н.М. Страхов в настоящее время отказался от этого неправильного положения» (там же, стр. 158).

Главным следствием этого раздела дискуссии было признание эволюции осадочного процесса в истории Земли, что было, по-видимому, впервые указано в учебнике Л.В. Пустовалова, а затем очень четко и определенно сформировано в предшествующей дискуссии статье: «Мы должны со всей смелостью и решительностью ... заменить неполный и односторонний принцип актуализма начала прошлого столетия, лежавший в основе всех геологических исследований предшествующего периода, сыгравший свою важнейшую роль в развитии геологии, но явно сейчас себя исчерпавший и ставший теперь тормозом для дальнейшего развития геологических знаний, – мы должны со всей смелостью и решительностью заменить этот принцип актуализма новым, творческим, единственно правильным, более широким и более

плодотворным *принципом развития*, поднимающим геологию на более высокую ступень» (выделено Пустоваловым [Пустовалов, 1950, с. 101]).

Значительно позднее А.Л. Яншин с некоторым сожалением и даже горечью констатировал, что «сломана парадигма актуализма была не в области тектоники, а в области литологии» [Яншин, 1993а, 1993б, стр. 5], причем первым обратил на это внимание Л.В. Пустовалов (там же). Прежде всего, Л.В. Пустовалов указал на наличие целого ряда осадочных пород, аналоги которых отсутствуют в виде современных осадков, на ряде примеров показал, что условия образования современных и древних «однотипных» отложений нередко различны [Пустовалов, 1940].

Приоритет Л.В. Пустовалова в этом вопросе признавал и Н.М. Страхов, хотя не преминул поговорить и о недостатках: «Как известно, Л.В. Пустовалов еще в 1940 г впервые разобрал этот вопрос (периодичности и эволюции осадконакопления в истории Земли – В.К.). Однако предложенное им решение («закономерности») обладают многими и существенными дефектами, так что вся проблема в целом нуждается, на мой взгляд, в дальнейших исследованиях» [Страхов, 1949, стр. 70].

Позднее сам Н.М. Страхов рассматривал этапы развития внешних геосфер и осадочного породообразования в истории Земли [Страхов, 1962]. По-видимому, это была первая, или, по крайней мере, одна из первых столь подробных схем эволюции осадочного процесса. Обсуждать ее неточности, недостатки и даже ошибки через пятьдесят лет бессмысленно и не этично. Схема эта была для своего времени (и, добавим, долго после него, о чем свидетельствует ее включение в учебники ([Антошкина, 2003, Логвиненко, 1984, Фролов, 1995] интересной и важной. При всем при том, один методический вопрос затронуть все же интересно и полезно.

Предоставим слово А.Л. Яншину. Обсуждая принципы выделения геологических формаций, он указал, что Н.М. Страховым «... подробнейшим образом описан гумидный тип литогенеза со всеми его особенностями и во всех его многообразных проявлениях. ... Убедительно показано на огромном цифровом материале, что все особенности выветривания, переноса материала и отложения осадка, процессов диагенеза и эпигенеза, поведения отдельных элементов и даже окраски пород при гумидном типе литогенеза связаны с присутствием большого количества органического вещества растительного происхождения.... Однако наземная растительность существовала не всегда.... А каковы же были особенности гумидного литогенеза на континентах до появления наземной растительности? Ответа на этот вопрос мы не найдем...» [Яншин, 1972, стр. 7].

Научная работа – творчество и получение *принципиально* нового никакими даже апробированными методами невозможно. Даже правильный детально разработанный метод исследования ограничен применением в той сфере, в которой он разработан. Для получения *принципиально нового* знания необходимы иные подходы. Тем самым сравнительно-литологический метод имеет свои естественно ограниченные области применения.

Одно из наиболее серьезных замечаний по поводу идей и построений Л.В. Пустовалова заключается в том, что его схемы чисто умозрительны, созданы не на базе конкретного геологического материала. Лишь после этого для создания достоверности и доказательности к этим абстрактным схемам притягиваются те или иные конкретные геологические ситуации и объекты. Тем самым его построения не могут считаться научными.

По-видимому, «умозрительность» и схематизация в ряде, а может быть во многих случаях, действительно имеют место. Другое дело, возможен ли принципиально и вообще подобный чисто теоретический подход в науке. В этой связи небольшое отступление.

Зададимся на первый взгляд абстрактным, не имеющим к данной ситуации, вопросом: что такое теорема в математике и ряде других наук. Это формулировка некоего положения – предположения, которое *затем* доказывается. Ряд выдающихся ученых-теоретиков, прежде всего физиков и астрофизиков, отмечали, что вывод, решение какой-либо задачи они «видели» заранее, а затем искали, и находили! – доказательство этих выводов-прозрений.

Можно обсуждать, почему возникает такое предвидение, божественное ли это откровение свыше, или таково свойство гения (оставим решение философам и психологам), но надо признать его как факт.

Сейчас мы не знаем, как именно создавалась Евклидова геометрия, формулировка и доказательство содержащихся там теорем, но ясно, что сначала *формулируется* некое положение, вывод, а затем оно *доказывается*. «Предвидение результатов» и лишь затем их доказательство имеет место на наших глазах. Существует ряд положений, которые были сформулированы достаточно давно, но до сих пор не доказаны, или время между их формулировкой (выдвижением) и доказательством достаточно велико. Совсем свежий пример – доказательство Г.Я. Перельманом теоремы Пуанкаре, достижение, отмеченное премией Филдса – математической премии статуса Нобелевской. Более ста лет с 1904 года теорема оставалась сформулированной, но не доказанной, и ее как-то не обвиняли в умозрительности. В обыденном сознании это событие – доказательство теоремы через сто с лишним лет – связано в основном с суммой премии и отказа от неё автором доказательства, но пример наличия первоначально вывода, и лишь потом его доказательства – налицо.

Надо сказать, что подобная ситуация – прерогатива не только абстрактных теоретических наук. Есть наглядный пример подобного решения в науках естественных. Предоставим слово Ч. Дарвину. «Ни один другой мой труд не был начат в таком чисто дедуктивном плане, как этот, ибо вся теория (происхождения рифов – В.К.) была придумана мною, когда я находился на западном берегу Южной Америки, до того, как я увидел хотя бы один настоящий коралловый риф. Мне оставалось поэтому лишь проверить и развить свои взгляды путем тщательного исследования живых [коралловых] рифов. Правда, нужно заметить, что в течение двух предшествующих лет я имел возможность непрерывно наблюдать то действие, которое оказывали на берега Южной Америки перемещающиеся поднятие суши совместно с процессами денудации и образования осадочных отложений. Это с необходимостью привело меня к длительным размышлениям о результатах процесса опускания [суши], и было уже нетрудно мысленно заместить непрерывное образование осадочных отложений ростом кораллов, направленным вверх. Сделать это – и означало построить мою теорию образования барьерных рифов и атоллов» [Дарвин, 1959, стр. 214].

Другими словами – подобный подход (в терминах формальной логики это вариант дедукции) – вполне законный и часто эффективный метод научного исследования. Вначале общая и, может быть, чересчур схематическая идея постепенно обосновывается фактами, детализируется, уточняется, видоизменяется (может быть и вообще отвергается), но как метод исследования и познания истины подобный подход вполне оправдан и законен.

Весьма неприятную сторону взаимоотношений двух лидеров, а частично и их сторонников, составляло то, что условно можно назвать политико-идеологической составляющей. По-видимому, условия времени и общая обстановка того времени практически обязывала цитировать «классиков марксизма-ленинизма», ссылаться на них, как истину в последней инстанции, декларировать полное превосходство советской науки, вооруженной передовой идеологией диалектического материализма над загнивающей западной, где отсутствовали единственно правильные установки этой философии диалектического материализма. В наибольшей степени это проявилось в

предваряющих дискуссию 1952 года статьях, в ходе самой дискуссии и в решениях Совещания. Позднее эта тематика достаточно быстро исчезла, видимо, с связи с некоторым изменением общей политической ситуации после 1953 года – года смерти И.В. Сталина.

В этой неприглядной «идеологической» части первенство, и с большим отрывом, безусловно, у Л.В. Пустовалова. Цитировать подобные пассажи вряд ли целесообразно, но сам факт следует признать. Хуже другое. Уже в наше время ряд весьма уважаемых специалистов за подобной мишурой не увидели, или не хотели увидеть, сути и критикуют Л.В. Пустовалова по этому направлению. А ведь фактически многие основополагающие идеи – понятие осадочной дифференциации вещества, учение о геохимических фациях, эволюция и периодичность осадочного породообразования, постановка проблемы вторичных изменений и др., были выдвинуты и в той или иной степени, с учетом состояния знаний того времени, обоснованы Л.В. Пустоваловым.

В сороковые – шестидесятые годы Н.М. Страхов признавал приоритет Л.В. Пустовалова в постановке ряда важных проблем, критикуя, при этом частные или не разработанные еще в тридцатые годы вопросы (идеи и положения книги 1940 года создавались на базе знаний 20 – 30-х годов). При этом он, нередко меняя терминологию, разрабатывал эти идеи, во многом детализировал, обосновывал новыми материалами.

В итоговой своей крупной монографии «Развитие литогенетических идей в России и СССР» [Страхов, 1971] он уже практически не оставил Л.В. Пустовалову ничего положительного. Только один пример. Если в 1960 г. он указывал на приоритет Л.В. Пустовалова в формулировке *сути* диагенеза, то теперь это «только красивая фраза» [Страхов, 1971, стр. 346 – 347]. Находить недостатки в научных работах, выполненных несколько десятилетий тому назад, несложно, но вряд ли корректно критиковать за отсутствие того материала и тех данных, которые были получены в течение последующих трех десятков лет и которые при этом полностью подтвердили высказанную ранее суть проблемы.

Критике представлений Л.В. Пустовалова в этой книге посвящено 66 страниц – более 10% объема книги, а если исключить анализ и описание дореволюционного периода, то еще больше. Вообще в этой, безусловно интересной с точки зрения фактологии монографии, нет, кажется, ни одного крупного литолога 30 – 60-х годов, равно как и ряда геологов смежных отраслей, кого бы не коснулась критическая десница Н.М. Страхова. Создание учения о климатических типах литогенеза, судя по этой книге, представляется, хотел того автор или нет, последним словом и завершением науки литологии, как таковой.

Добавим, кстати, что критическое, если не сказать резко негативное, восприятие Н.М. Страховым работ других исследователей проявлялось и в периодической публикации им соответствующих статей по тем или иным вопросам. Показательно, что даже в посмертных переизданиях подобные статьи и критика Л.В. Пустовалова [Страхов, 1983] и А.П. Лисицына [Страхов, 2008] занимают заметное место.

Приведенные выше в разных частях текста высказывания и положительная оценка роли Л.В. Пустовалова по тем или иным вопросам, причем, в основном представителей «противоположной партии», показывают, что научное значение идей и частично конкретных разработок Л.В. Пустовалова, в целом высоко оценено геологической общественностью.

Научные заслуги Н.М. Страхова несомненны. Это прежде всего выявление огромной роли и привлечение в литологические исследования климата и жизнедеятельности организмов, а также дальнейшая разработка ряда идей Л.В. Пустовалова и прежде всего идей эволюции.

Привлечение климата для решения литологических задач и показ его значения имело, безусловно, очень важное положительное значение. Вместе с тем, исследование

климатической зональности и «выявление» трех типов, или, точнее, планов климатической зональности в геологической истории [Страхов. 1960, с. 194 - 202] вызывает ряд вопросов.

Автор исходит из твердого убеждения о стабильном и неизменном положении материков, на базе которых исследованы климатические показатели. В итоге Н.М. Страхов выделяет в послепротерозойское время «три типа климатической зональности, ясно отличающиеся друг от друга расположением теплых поясов относительно современного экватора» (там же, с. 194). Обособляются соответственно нижнепалеозойский этап зональности – ордовик – девон, верхнепалеозойский – карбон – триас, и современный – юра – квартал. При этом наклон плоскости экватора относительно современного положения (и соответственно положение оси вращения) в триасе отличался от современного на $40 - 45^{\circ}$, а в девоне на 30° (стр. 196). По мысли автора «в переходные эпохи, когда один план климатической зональности сменялся другим, т.е. в верхнем девоне и в триасе ... средняя скорость смещения достигала примерно $18 - 19$ см/год» (там же, с. 1960). Этот план климатической зональности Н.М. Страхов подтвердил и в работе 1971 г, усилив при этом наклон земной оси в позднем палеозое до $70 - 75^{\circ}$, то есть практически «положив» ось вращения Земли на плоскость ее орбиты [Страхов, 1971, с. 537]. Другими словами, земной шар вел себя как волчок и одновременно как Ванька-Встанька, пока не принял современное положение. Как это соотносится с законами физики и небесной механики – не рассматривается. Добавим, что ось вращения волчка отклоняется от вертикальной при *уменьшении* скорости вращения. Поскольку скорость вращения Земли в течение геологического времени уменьшалась, что вело к сокращению числа дней в году (период обращения Земли вокруг Солнца), ось вращения должна была не вставать вертикально к плоскости орбиты, как это имеет место сейчас, а, напротив, еще больше ложиться. Более того, если какие-либо факты не укладывались в созданную схему – тем хуже для фактов – они легко переинтерпретировались в нужном направлении. Так, следы грандиозного Гондвандского позднепалеозойского материкового оледенения в Индии и восточной Австралии, которые по этим реконструкциям оказывались в тогдашней экваториальной зоне, были, по мысли Н.М. Страхова «несомненно горного типа» (там же, с. 199).

Возникает вопрос – не является ли убеждение в абсолютной достоверности проведенной реконструкции палеоклиматической зональности и соответственно постулат постоянного положения континентальных блоков следствием методологии «сравнительно-литологического метода», основанного на идеологии актуализма?

И еще одно примечание. Смена планов климатической зональности Н.М. Страхова в целом соответствует трем крупным тектоническим эпохам – каледонской, герцинской и альпийской, правда, с некоторым временным смещением. Ранее он резко критиковал периодичность осадкообразования Л.В. Пустовалова, соответствующую этим эпохам и давал свою периодичность.

Добавим, что эта работа с описанием изменения положения земной оси без всяких комментариев помещена в два переиздания трудов Н.М. Страхова [1983, 2008].

Завершая анализ основных научных положений Л.В. Пустовалова, следует вернуться к самому первому – формулировке основ самой науки. Лучше всего их значимость выразить отзывами специалистов.

Автор первого отечественного учебника по петрографии осадочных пород, человек, в 1922 году первым в нашей стране прочитавший специальный курс «Петрографии осадочных пород – М.С. Швецов: «... работа Л.В. Пустовалова сыграла большую положительную роль в развитии осадочной петрографии. Прежде всего она подчеркнула существование точных закономерностей образования осадочных пород и связей последних между собой. Она способствовала, как в свое время статьи Я.В. Самойлова, пробуждению и повышению интереса к изучению осадочных пород и

пониманию необходимости выявления основных законов их образования. И, наконец, что было не менее важно, у тех исследователей, которые считали положения Л.В. Пустовалова ошибочными, она вызвала потребность глубже вникнуть в сущность общих закономерностей осадочного породообразования, которых без того эти исследователи, может быть, и не стали бы касаться. Таким образом, работа Л.В. Пустовалова, как и ее критика, способствовали привлечению внимания к целеустремленной разработке основ теории осадкообразования и поискам путей решения этой проблемы, основанных на тщательном изучении точных фактических данных, и сыграли немалую роль в развитии теоретических основ нашей науки [Швецов, 1958, с. 209 – 210].

Д.И. Щербаков, Д.В. Наливкин, Б.Н. Ерофеев: «Петрография осадочных пород» Л.В. Пустовалова, поставившая эту науку на принципиально новые рельсы, произвела большое впечатление на научные геологические круги как в Советском Союзе, так и за рубежом» [Щербаков и др., 1963, с. 11].

Редактор всех трех собраний сочинений Н.М. Страхова, изданных после его кончины В.Н. Холодов: «... Л.В. Пустовалов являлся пионером в поисках общих закономерностей осадочного породообразования. Он один из первых указал на необходимость создания общей теории осадочного процесса и сам пытался осуществить эту задачу, а его книга дала мощный толчок для постановки широких исследований в этой области» [Холодов, 1985, с. 26].

Л.В. Пустовалов выдвинул ряд основополагающих идей и представлений, способствующих становлению самой науки, Н.М. Страхов во многом развил их, естественно во многом уточнив и детализировав их. Главной заслугой последнего, как уже отмечалось, было введение в научный оборот литологов роли климата и организмов. Очень четко это было осознано еще во времена литологической дискуссии в статье 5-ти авторов, в списке которых, хотя по алфавиту и значится последним будущий академик В.Е. Хаин, но по стилю текст явно написан им, читаем: «Ряд ошибок Л.В. Пустовалова был замечен Н.М. Страховым, но последний напрасно стремился полностью опровергнуть закономерности, в принципе правильно установленные Л.В. Пустоваловым. Сам того не признавая, Н.М. Страхов во многом их дополнил и развил» [Алиев и др., 1955, стр. 145].

Основные идеи этих выдающихся ученых вошли в учебные издания, по которым ведется преподавание литологии в вузах страны [Алексеев, 2004, Антошкина, 2003, Безбородов, 1996, Кузнецов, 2011, Логвиненко, 1984, Прошляков, Кузнецов, 1981, 1991, Сергеева, 2005, Фролов, 1992 – 1994, Япаскурт, 2008].

Литература

1. Алексеев В.П. Литология. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2004. 253 с.
2. Алиев А.Г., Байрамов А.С., Даидбеков Э.А., Султанов А.Д., Хаин В.Е., Современное состояние и очередные задачи изучения осадочных пород и осадочных полезных ископаемых в Азербайджане // Совещание по осадочным породам. Доклады. М.: Изд. АН СССР. Вып. 2. 1955. С. 135 – 145.
3. Антошкина А.И. Краткий курс литологии. Сыктывкар: Изд-во СыктГУ, 2003. 208 с.
4. Безбородов Р.С. Краткий курс литологии. М.: Изд-во УДН, 1996. 338 с.
5. Гордеев В.В. Речной сток в океан и черты его геохимии. М.: Наука, 1983. 159 с.
6. Гордеев В.В. Система река-море и ее роль в геохимии океана. Автореферат диссертации. М.: Ин-т океанологии, 2009. 36 с.
7. Гуляева Л.А. Осадки сероводородных бассейнов геологического прошлого // Докл. АН СССР, 1953. Т. 92. № 5.

8. Гуляева Л.А. Геохимические фации, окислительно-восстановительные обстановки и органическое вещество осадочных пород // Советская геология, 1955. № 7. С. 88 – 103.
9. Дарвин Ч. Воспоминания о развитии моего ума и характера (Автобиография) Сочинения. Т. 9. М.: Изд-во, АН СССР, 1959. Стр. 166 – 242.
10. Коссовская А.Г. Развитие идей Л.В. Пустовалова в проблеме преобразования осадочных пород в метаморфические // Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений, 1993. № 4. С. 22 – 31.
11. Крамбейн В.С., Гаррелс Р.М. Происхождение и классификация химических осадков в зависимости от pH и окислительно-восстановительных потенциалов // Термодинамика геохимических процессов. М.: ИЛ, 1960. С. 73 – 121.
12. Крашенинников Г.Ф. Эволюция учения Л.В. Пустовалова о поверхностной осадочной дифференциации вещества // Известия ВУЗов. Геология и разведка, 1983. № 10. С. 156 – 162.
13. Крашенинников Г.Ф. Биогенная осадочная дифференциация // Докл АН СССР, 1985а. Т. 281. № 4. С. 908 – 911.
14. Крашенинников Г.Ф. Работы Л.В. Пустовалов и современная литология // Проблемы экзогенного и метаморфогенного породо- и рудообразования. М.: Наука, 1985б. С. 8 – 18.
15. Кузнецов В.Г. Учение Л.В. Пустовалова об осадочной дифференциации и его современное состояние // Бюлл. Моск. об-ва испытателей природы. Отдел геологии. 2005. Т. 80. Вып. 1. С. 66 – 74.
16. Кузнецов В.Г. В.И. Вернадский и Л.В. Пустовалов (сравнительный анализ педагогической деятельности и научных представлений // Бюллетень Комиссии по разработке научного наследия академика В.И. Вернадского. № 20. М.: НИИ-Природа, 2011. С. 32 – 52.
17. Кузнецов В.Г. Литология. Основы общей (теоретической) литологии. М.: Научный мир, 2011. 360 с.
18. Кузнецов В.Г. Геологические представления Жоржа Бюффона. Смирновский сборник. М.: Макс Пресс, 2016. С. 123 – 146.
19. Кузнецов В.Г. Краткая история становления и развития сравнительно-литологического метода // Вестник Российской Академии Наук, 2016. Т. 86, № 8. С. 740 – 744.
20. Лисицын А.П. Процессы океанской седиментации. М.: Наука, 1978. 392 с.
21. Лисицын А.П. Лавинная седиментация и перерывы в осадконакоплении в морях и океанах. М.: Наука, 1988. 309 с.
22. Логвиненко Н.В. Петрография осадочных пород. М.: Высшая школа, 1984. 416 с.
23. Лукашев В.К. Геохимические индикаторы процессов гипергенеза и осадкообразования. Минск: Наука и техника, 1972. 320 с.
24. Маслов А.В. Осадочные породы: методы изучения и интерпретации полученных данных. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2005. 289 с.
25. Наливкин Д.В. Учение о фациях. М.- Л.: Изд-во АН СССР, 1956. Т. 1. 534 с.
26. О вторичных изменениях осадочных пород М.: Изд-во АН СССР, 1956. 224 с. (Тр. ГИН АН СССР, вып. 5).
27. Прошляков Б.К., Кузнецов В.Г. Литология и литолого-фациальный анализ. М.: Недра, 1981. 284 с.
28. Прошляков Б.К., Кузнецов В.Г. Литология. М.: Недра, 1991. 444 с.
29. Пустовалов Л.В. Геохимические фации и их значение в общей и прикладной геологии // Проблемы советской геологии, 1933. № 1. С. 57 – 80.
30. Пустовалов Л.В. Об осадочной дифференциации вещества и о периодичности минерального осадконакопления // Разведка недр. 1940а. № 4. С. 17 – 25.

31. Пустовалов Л.В. Петрография осадочных пород. М.-Л.: Гостоптехиздат, 1940 б. Ч.1. 476 с., ч. 2. 420 с.
32. Пустовалов Л.В. К вопросу о положении в науке об осадочных породах. // Изв. АН СССР, сер. геол., 1950, № 4. С. 68 – 102.
33. Пустовалов Л.В. Вторичные изменения осадочных горных пород и их геологическое значение // О вторичных изменениях осадочных пород М.: Изд-во АН СССР, 1956. С. 3 - 52. (Тр. ГИН АН СССР, вып. 5).
34. Родионова К. Ф. Органическое вещество и нефтематеринские породы девона Волго-Уральской нефтегазоносной области. М.: Недра, 1967. Тр. ВНИГНИ, вып. 53.
35. Сергеева Э.И. Теория литогенеза. СПб.: Изд-во С.-Пб ун-та, 2005 140 с.
36. Совещание по осадочным породам. Доклады. Изд. АН СССР. Вып. 1. 1952. 326 с. Вып. 2. 1955. 363.
37. Страхов Н.М. Историческая геология. М.: Учпедгиз, 1938. 499 с.
38. Страхов Н.М. Основы исторической геологии. М.-Л.: Госгеолтехиздат, 1948. Т. 253 с., т.2 396 с.
39. Страхов Н.М. О сравнительно-литологическом направлении и его ближайших задачах // Бюлл. МОИП. Отд. геол.. 1945. Т 20. № 3\4. С. 34 – 48.
40. Страхов Н.М. О периодичности и необратимой эволюции осадкообразования в истории Земли // Изв. АН СССР, сер. геол., 1949. № 6. С. 70 – 111.
41. Страхов Н.М. Известково-доломитовые фации современных и древних водоемов. Тр. ИГН. Вып. 124. Геологическая серия № 45. М. Изд-во АН СССР, 1951. 371 с..
42. Страхов Н.М. Проблемы распределения и накопления основных химических компонентов в осадках современных и древних водоемов // Совещание по осадочным породам. Доклады. Изд. АН СССР. Вып. 1. 1952. С. 188 – 218.
43. Страхов Н.М. Формы железа в отложениях Черного моря и их значение для теории диагенеза // К познанию диагенеза осадков. М.: Изд-во АН СССР, 1959. С. 92 – 136.
44. Страхов Н.М. Основы теории литогенеза. Т. 1. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 212 с.
45. Страхов Н.М. Этапы развития внешних геосфер и осадочного породообразования в истории Земли // Изв. АН СССР, сер. геол., 1962. № 12. С. 3 – 22.
46. Страхов Н.М. Типы литогенеза и их эволюция в истории Земли. М.: Госгеолтехиздат, 1963. 535 с.
47. Страхов Н.М. Развитие литогенетических идей в России и СССР. М.: Наука. 1971. 622 с. (Тр. ГИН. Вып. 228).
48. Страхов Н.М. Избранные труды. Общие проблемы геологии, литологии и геохимии. М.: Наука, 1983. 640 с.
49. Страхов Н.М. Избранные труды, Осадкообразование в современных водоемах. М.: Наука, 1993. 396 с.
50. Страхов Н.М. Проблемы современного и древнего осадочного процесса. М. Наука, 2008. Т.1, 495 с. Т. 2, 499 с.
51. Теодорович Г.И. Осадочные геохимические фации // Бюлл. МОИП, отд. геол., 1947. Т. 22, вып. 1. С. 3 – 24.
52. Ферсман А.Е. Геохимия. Избранные труды. Т. 111. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 798 с.
53. Фролов В.Т. Литология. М.: Изд-во Моск. ун-та., Книга 1, 1992. 336 с. Книга 3, 1995. 352 с.
54. Холодов В.Н. Роль Л.В. Пустовалова в развитии современных идей литологии и геохимии осадочных пород // Проблемы экзогенного и метаморфогенного породо- и рудообразования. М.: Наука, 1985. С.18 – 30.
55. Холодов В.Н. Л.В. Пустовалов – основатель учения о геохимических фациях // Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений, 1993. № 4. С. 14 – 21.

56. Холодов В.Н. Геохимия осадочного процесса. М.: ГЕОС, 2006. 607 с.
57. Холодов В.Н. Основы геохимии осадочного процесса. Сообщение 1. Фазовые превращения как главный фактор дифференциации вещества // Литология и полезные ископаемые, 1993, № 2. С. 3 – 23.
58. Холодов В.Н. О фазовой дифференциации вещества в осадочном процессе // Литология и полезные ископаемые, 2010, № 2. С. 118 – 132.
59. Холодов В.Н. Недумов Р.И. О геохимических критериях появления сероводородного заражения в водах древних водоемов // Изв. АН СССР, сер. геол., 1991, № 12. С. 74 – 82.
60. Шатский Н.С., Косыгин Ю.А., Пейве А.В., Пушаровский Ю.М., Херасков Н.П., Штрейс Н.А., Яншин А.Л. К вопросу о периодичности осадкообразования и методе актуализма в геологии // К вопросу о состоянии науки об осадочных породах. Т. 1. М.: Изд-во АН СССР. 1951. С. 146 – 163.
61. Швецов М.С. К вопросу о номенклатуре, терминологии и классификации осадочных пород // Вопросы минералогии осадочных образований. Книги 3-я и 4-я. Львов: Изд-во Львовского ун-та, 1956. С. 109 – 118.
62. Швецов М.С. Материалы к истории развития науки об осадочных породах в СССР // Очерки по истории геологических знаний. Вып. 6. М.: Изд-во АН СССР, 1958. С. 97 – 237.
63. Щербakov Д.И., Наливкин Д.В., Ерофеев Б.Н. Творческий путь Л.В. Пустовалова // геохимия, петрография и минералогия осадочных образований. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 5 – 21.
64. Эрнст В. Геохимический анализ фаций. Л.: Недра, 1976. 127 с.
65. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Основы литохимии. СПб: Наука, 2000.
66. Яншин А.Л. О глубине солеродных бассейнов и некоторые вопросы формирования мощных соленосных толщ // Геология и геофизика. 1961. № 1. С. 3 – 15.
67. Яншин А.Л. Предисловие (О принципах выделения геологических формаций) В кн.: Анатольева А.Н. Домезозойские красноцветные формации. Новосибирск: Наука, 1972. Тр. ИГиГ СО АН АН СССР, вып. 190. С. 5 -12.
68. Яншин А.Л. Возникновение проблемы эволюции геологических процессов. Эволюция геологических процессов в истории Земли. М.: Наука, 1993а. С. 9 – 20.
69. Яншин А.Л. Л.В. Пустовалов – основоположник учения об эволюции геологических процессов // Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений. 1993б, № 3. С. 3 – 9.
70. Япаскурт О.В. Литология. М.: Академия, 2008. 336 с.
71. Walther I. Einleitung in die Geologie als historische Wissenschaft. Bd. 1 – 3. Jena, 1893 – 1894.

Раменская Муза Евгеньевна, выпускник геологического ф-та МГУ 1957 г., к.г.-м.н. по специальности кристаллография. С 1956 по 1969 г. – техник, геолог, нач. отряда Нижне-Тунгусской экспедиции, (с 1958 г. – экспедиция № 20 МГиОН). О итинелевых двойниках исландского шпата см. в её книге «Взаимодействие кристаллов со средой: структурно-геометрический анализ», изд-во МГУ, 2008. 240 с. с. 31 – 36. 1959 – 2015 – м.н.с – в.н.с. Географического ф-та МГУ, ныне – пенсионер.

М.Е. Раменская

ИЗ ИСТОРИИ ЭКСПЕДИЦИИ, ИСКАВШЕЙ, РАЗВЕДЫВАВШЕЙ И ДОБЫВАВШЕЙ ИСЛАНДСКИЙ ШПАТ

Эта экспедиция просуществовала с 1952 по 2007 год и практически была единственной в стране, занимавшейся исландским шпатом. Если это сырьё находили геологи какой-то другой экспедиции, проявление передавалось ей для разведки.

Исландский шпат или оптический кальцит «шапочно» знаком каждому по фотографии в учебнике общей геологии, на которой видно, что изображение под кристаллом дwoится. Потом из курса петрографии студент узнавал, что не только кальцит, а любое кристаллическое вещество с симметрией ниже кубической расщепляет проходящий через него свет на два плоско поляризованных луча, обладающих разным показателем преломления. Но только у кальцита и минералов его группы разность показателей преломления столь велика, что можно один из лучей отклонить и таким образом получить чистый поляризованный свет, либо воспользоваться углом между лучами для изготовления прибора, разводящего лучи света. А из этих минералов только у кальцита кристаллы достигают достаточных для промышленного использования размеров. Это делает исландский шпат ценным сырьём для изготовления точных приборов, среди которых например, поляризационные микроскопы для определения состава вещества без его разрушения, или дальномёры для ориентировки в пространстве спутников и космических кораблей.

В России исландский шпат был известен ещё в XIX веке [1]. Но о его находках как о месторождениях полезного ископаемого речь зашла в 1920-х гг. В 1926 г. начальник производственного отдела Сибирского края при Совнаркоме Ганин вышел с одним из первых документов об этом – «Докладная записка об экспедиции Сибкрайсовнархоза [для изучения] р. Н. Тунгуски Туруханского края с попутной добычей исландского шпата в 1927–28 гг.» на четырёх страницах с приложением сметы, которая хранится во Всероссийском геологическом фонде (ВГФ). В ней говорится, что председатель Красноярского комитета содействия малым народностям Севера И.М. Суслов во многих местах бассейна Нижней Тунгуски обнаружил месторождения исландского шпата. Необходимость срочной посылки экспедиции, согласно записке, диктуется открытым залеганием шпата в обнажениях, «несвоевременная выборка которых может привести к расхищению со спекулятивной целью».

В течение ближайших лет в различные районы бассейна Нижней Тунгуски посылались отряды Главсевморпути и др. организаций, а с 1939 г. работы вели геологи Красноярского территориального управления. Наиболее крупными месторождениями считались Скалы Суслова и Гончак, находящиеся на крутых обрывах Нижней Тунгуски и её правого притока р. Гончак. Оба они располагаются в верхах лавового покрова, подстилающего шаровые лавы, и минерализация связана в них с процессами переработки стекловатой части обоих покровов гидротермальными растворами. Эти месторождения неоднократно посещал сотрудник кафедры нерудных полезных ископаемых из Ленинградского горного института Алексей Васильевич Скропышев. Вблизи этих месторождений до войны и после неё он открыл несколько мелких шпатопроявлений и зон кальцитово-цеолитовой минерализации. Обобщив опыт работ местных геологов и собственный, он вскоре после войны защитил докторскую

диссертацию и стал профессором ЛГИ. Позже он неоднократно заключал договора с работавшей там экспедицией на изучение и повышение качества сырья.

В 1952 г., Министерством геологии была организована постоянная Нижне-Тунгусская экспедиция (НТЭ), о которой и идёт речь. Начальником её вскоре назначили Ивана Андреевича Золотухина. Экспедиция вела поиски исландского шпата методом геологической съемки масштабов 1: 100 000 и 1: 50 000, детальные поиски масштаба 1: 10 000, разведку с подсчётом запасов и добычу на уже разведанных месторождениях по всему пространству Средней Сибири, где развиты траппы и связанные с ними туфогенные отложения.

В экспедиции был свой «обогащительный цех», единственный сотрудник которого Александр Александрович Вишневский (рис. 1) в своё время проходил стажировку на заводе Цейсса. Обогащение заключалось в осторожном раскалывании огромных кристаллов и их сростков при помощи лишь молотка и зубила. Полученные таким путём прозрачные участки представляли собой спайные выколки. Работа кропотливая, требует умения и сообразительности – как колоть кристалл по спайности, чтобы сохранился максимум бездефектного объёма. Потребителям доставляли проверенные на прозрачность визуально с помощью длиннофокусной лупы спайные выколки нужных размеров. Из них потом на оптическом заводе вытачивали поляризационные призмы и другие изделия. Исходя из общего за сезон веса кондиционных выколков и объёма вынутой шпатоносной породы подсчитывались запасы кристаллосырья на месторождении.

В первые же годы работы НТЭ её геологом Евгением Яковлевичем Киевленко на продолжении шпатоносной зоны месторождения Гончак вниз по течению реки открыто месторождение, получившее то же название – Гончак, а известное месторождение, крайне неудобное для разработки, стало называться Старым Гончаком. Месторождение, открытое при прослеживании той же зоны минерализации вверх по течению реки Е.Я. Киевленко совместно с Кэминэ Кайгысысовичем (в обиходе – Кимом Константиновичем) Атабаевым (рис. 2), получило название Кругое. Нашли несколько месторождений и шпатопроявлений и в туфогенном поле. Самое крупное из них, открытое геологами В.В. Осиповым и И.А. Бляхманом, носит название Хрустальное [5].



Рис. 1. Обогащитель Нижне-тунгусской экспедиции А.А. Вишневский.



Рис. 2. К.К. Атабаев в поле (1956).

За долгие годы работы экспедиции она успела частично перебазироваться на 1957 год в Туву, где разведала и закрыла месторождение Адырбуг, залегающее в зоне дробления известняков. Прозрачных кристаллов там было огромное количество; хотя были среди них мутные из-за глинистых включений. Главными же дефектами были трещины и механические двойники, вызываемые ещё не прекратившимися тектоническими подвижками. Несколько лет спустя по этим же причинам было закрыто ещё одно месторождение в известняках, уже в окрестностях Черемхово.

В 1958 г. экспедиция получила ещё одно месторождение, на сей раз связанное с зоной дробления в дайке и названное Разлом. Оно было открыто геологом соседней экспедиции № 106 Плакиным. Вместе с геологом В. Дроновым Плакин перешёл в бывшую НТЭ, переименованную к этому времени в экспедицию № 20.

Детальное описание всех типов месторождений опубликовано Е.Я. Киевленко в 1974 г. [1]. О свойствах кристаллосырья с этих месторождений также можно прочесть [2, 3]

В экспедиции проработал не один десяток геологов, состав постепенно менялся. И каждый вновь поступавший туда геолог, если ему приходилось видеть работу обогатителя, возмущался варварским методом обогащения. Трещины спайности, по которым раскалывают кристаллы, секут зоны роста, границы прозрачных и дефектных областей. Главный же бич – двойниковые швы.

Всем минералагам известны двойники прорастания шпинели, достигающие 20 и более сантиметров в поперечнике, тогда как монокристаллы не превышают первых миллиметров. Главная плоскость срастания здесь – грань октаэдра, индивиды повёрнуты вокруг перпендикулярной октаэдру оси 3-го порядка на 180° . Это – так называемые шпинелевые двойники. Хотя исландский шпат не имеет кубической симметрии, его структура представляет собой сплюснутую вдоль оси 3-го порядка кубическую структуру, остальные оси 3-го порядка исчезают, две перпендикулярные единственной оси грани октаэдра превращаются в пинакоид. Исландский шпат тем не менее тоже образует шпинелевые двойники, где плоскостью срастания и является пинакоид, перпендикулярный единственной оси третьего порядка. Всё кондиционное сырьё – это шпинелевые двойники: лишь они достигают достаточных размеров. Часто двойники по пинакоиду являются полисинтетическими (рис.3). При раскалывании кристалла по спайности трещина, дойдя до двойникового шва, не может его пересечь, т.к. у другого индивида спайность идёт в ином направлении. У границы возникают новые трещины по

другим направлениям спайности, иногда – и механические двойники. Часть бездефектной области, а то и весь кристалл безвозвратно гибнет.

– Почему кристаллы не пилят?! – возмущались новички. И получали неизменный ответ сначала от А.А. Вищневского, потом от Софьи Ивановны Цыбульской, которую А.А. перед уходом на пенсию обучил секретам обогащения: «Кристаллы хрупкие, при распиливании будут возникать многочисленные трещины по трём направлениям спайности и другие дефекты. Пропадёт весь кристалл. Даже у Цейсса их обогащают молотком и зубилом!»

Упомянутый уже геолог экспедиции Ким Константинович Атабаев в 1958 году был назначен её главным геологом. Не забыв своего негодования по поводу варварского обогащения кристаллов, он поставил перед собой задачу разработать новый метод обогащения. В этом его поддержал И.А. Золотухин.

«Всё очень просто, – считал Атабаев – надо пилить кристаллы по двойниковым швам на пластины, параллельные пинакоиду. Пилят же десятки лет куда более твёрдый кварц!». Он поехал в Ленинград и достал в Оптическом институте несколько станков для распиливания кварца. Вместе с рабочим, обслуживающим станок, легко подобрали режим с водяным охлаждением и мягкий, как известно, твёрдость 3, исландский шпат без труда стали распиливать по пинакоиду на пластины, названные пинакоидальными.

В 1968 г. начали строить обогатительный цех – отдельный деревянный дом. Кстати, в три комнаты второго этажа в 1970 г. переехал экспедиционный музей, основанный К.К. Атабаевым в 1959 году и уже не вмещавшийся в крохотной комнатке конторы. Каждую осень отбирали лучшие образцы горных пород, минеральных ассоциаций, сростков и отдельных кристаллов как исландского шпата, так и цеолитов, анальцита, апофиллита. Постепенно собралось всё разнообразие горных пород и минералов, характеризующих интрузивные, эффузивные и эксплозивные траппы, а главное – монографические, то есть, полностью отражающие геологию, петрографию, минералогию и кристаллографию, коллекции месторождений исландского шпата всех типов. С коллекциями будущих районов работ знакомили каждого нового геолога и студента, приезжающего в экспедицию на практику.

Обогатительный цех оснащали инструментами, в частности, всем, что необходимо не только для распиливания шпата, но и для полировки поверхностей распила; приборами – от рентгенгонометра для точной ориентировки распила до люминесцентных ламп и лазеров с целью обнаруживать замутнённые области.



Рис. 3. А.В. Шустов, 1972 г.

Осенью то ли 1962, то ли 1963 г. приехал А.В. Скропышев с проектом очередного договора. Он предлагал разработать способ устранения механических двойников давлением. Этот дефект кристаллов возникает от механических воздействий (например, при тектонических подвижках или оттаивании и замерзании вмещающей кристалл породы). Он располагается по плоскостям ромбоэдра $(01\bar{1}2)$, вдоль которых тонкий слой структуры повернут, и из-за разницы в преломлении плоскость $(01\bar{1}2)$ с нарушенной структурой ирридирует, выглядит радужной, изображение под ней искажается. Считается, что механическим путём этот дефект устраним давлением, но на пересечении двух механических двойников остаётся нарушение сплошности. Поэтому ликвидация механических двойников – безнадёжное дело. На техническом совете экспедиции по предложению К.К. Атабаева, тему договора с А.В. Скропышевым заменили на разработку метода обогащения кристаллов путём их распиливания на заготовки. В связи с новой темой по инициативе К.К. Атабаева от А.В. Скропышева потребовали включить в группу кристаллографа. Зав кафедрой кристаллографии ЛГИ И.И. Шафрановский порекомендовал аспиранта первого года Александра Всеволодовича Шустова (рис. 3).

Оптические свойства тригонального минерала допускают распиливание пинакоидальных пластин параллельно оптической оси в направлениях с любым значением координаты ϕ . Но в реальном кристалле следует учитывать его морфологию. Однако, к огромным кристаллам исландского шпата традиционная гониометрия неприменима. Для измерения необходимо как-то устанавливать природный кристалл. Грани у него только с одного конца, другой – неправильный, это место, которым кристалл прирос к породе. Конечно, он обязательно весь в трещинах, некоторые грани – это не грани роста, а грани спайности, по которым он раскололся. И тут Шустова осенило: по этим граням и надо ориентировать кристалл! Зная свойственные исландскому шпату углы между гранями спайности, он выпилил деревянные бруски, склеив которые, получил простейший прибор в форме гнезда (он его гнездом и назвал) [4]. Опустив в него расколотый кристалл, сразу получаешь его точную ориентировку. Это и были первое изобретение А.В. Шустова и одна из публикаций по диссертации. Измеряя прикладным гониометром углы между бортами гнезда и гранями, Шустов сразу получал сферические координаты граней ϕ и ρ .

Выделяя пирамиды роста одноимённых граней в кристалле, Шустов предложил использовать треугольные участки, дополняя их из одноимённых пирамид роста. Одноимённые пирамиды роста, т.е. области роста разных граней одной простой формы оптически идентичны.

Трудоёмкую механическую полировку решили заменить химической, и А.В. Шустову удалось вручную подобрать режим травления. Надо сказать, что этот изобретатель совершенно не умел работать руками, чем вызывал насмешки всех окружающих. Во всех практических вопросах ему помогал механик экспедиции Владимир Александрович Цветков. Так, с помощью Цветкова он подбирал режим для распиливания пинакоидальных пластин на квадратные заготовки. На этот раз он попросил В.А. Цветкова разработать механизм, который подавал бы новые порции соляной кислоты, держа кристалл, чтобы он не царапался о стенки. Долго Шустов объяснял, как должен кристалл обмываться, что такое «планетарное вращение», и вдруг Цветков говорит: «Сейчас я это устройство тебе принесу». А.В. Шустов со смехом говорил потом о своём восторге, когда В.А. Цветков явился со стиральной машиной «белка». Огромная, литров на 20, «белка» была великовата для одного кристалла. А два положить нельзя: перебьются друг о друга. «Знаешь, – сказал Шустов Цветкову, – а, ведь, если мячики взять, прорезать дырки – их хоть 10 можно положить в машину». И пошли они в промтоварный магазин (единственный в Туре). Но мячей там не оказалось! Шустов повесил нос. А практичный Цветков отправился в аптеку и явился с целой сумкой клизм-спринцовок. Отрезали носики, прорезали щели, открывающиеся, если

нажать с боков. Положили по кристаллу в несколько клизмочек, налили солянку и включили машину... Проблема была решена за один день. «А потом, — сердито сказал А.В., — в цехе внесли рационализаторское предложение класть в каждую клизму не один, а несколько кристаллов, всё перебили и чуть не зарубили нашу клизматiku».

Шустову не было дела до того, кто поставил задачу. Он был счастлив, что её решил. Авторское свидетельство на получение заготовок путём распиливания составлял А.В. Скропышев как руководитель работ. Поставил в качестве авторов себя, И.А. Золотухина и двоих своих помощников: свою жену и Шустова. Про инициативу К.К. Атабаева Шустов не знал, а Скропышев не вспомнил.

К 1968 году разработка метода обогащения кристаллов путём распиливания на заготовки была завершена. Добыча кристаллосырья велась тогда на трёх месторождениях: в лавовом поле (в связи с шаровыми лавами) — на Крутом, в туфогенном — на Хрустальном и на Разломе. В камеральный период, опираясь на выход заготовок по весу, на всех трёх месторождениях заново подсчитали запасы. В 1970 г. И.А. Золотухин, К.К. Атабаев, А.В. Скропышев, начальники трёх партий, подсчитавших запасы на Крутом, Разломе и Хрустальном, А.В. Шустов и В.А. Цветков получили государственную премию первой степени «За открытие и разведку месторождений полезного ископаемого». О новой техно-логии обогащения — ни слова. Сама же технология обогащения описана А.В. Скропышевым совместно с новым его помощником — кристаллографом А.Л. Кукуем в [2]

...В том же 1970 г. Шустов прочёл, что в США изготовили поляризационную призму с полем зрения 5X5 см и заявили, что следующая такая призма может быть изготовлена не раньше, чем через 5 лет. Тогда он обратился к И.А. Золотухину за разрешением использовать кондиционное кристаллосырьё для изготовления большей призмы. Вскоре на ВДНХ в павильоне Космос появилась рекордная призма с полем зрения 10X10 см, а Шустов и Золотухин получили золотые медали ВДНХ. Однако в 1973 г. Шустов призмы там не увидел. Ему объяснили, что посетители опрокинули стенд, и призма разбилась вдребезги. Ой ли!

Оптическая промышленность стала получать вместо спайных выколков заготовки, из которых изделия получают практически без потерь, причём — в гораздо большем количестве, чем до этого получала выколков (рис. 8). Экспедиция выстроила кирпичное здание обогатительного цеха, деревянное отдели для камеральных работ, которые до той поры геологи выполняли дома. Но вскоре потребность в сырье была удовлетворена на много лет вперёд. Потому с середины 1970-х годов финансирование экспедиции резко снизилось. В 1979 г. К.К. Атабаев перешёл работать в другую экспедицию главка, занимающуюся кварцем на Дальнем Востоке. Какое-то время оставшиеся в Эвенкии геологи зарабатывали, разыскивая местное сырьё (например, каменный уголь) для отдельных посёлков, строили в вечной мерзлоте штольни-холодильники, а в 2007 году местные власти провели процедуру банкротства — и экспедиция перестала существовать. Узнав об этом, К.К. Атабаев отправился в Туру, увидел заброшенные здания обогатительного цеха и камералки и запертый музей. Он принял меры для спасения хотя бы одного своего детища. Все образцы упаковал и отправился в Москву. Там он долго ходил по музеям, предлагая уникальные монографические коллекции месторождений и проявлений исландского шпата всех генетических типов. И везде, даже в музее им. А.Е. Ферсмана, получал ответ: «У нас мало места, мы возьмём только лучшие образцы». К счастью, в конце концов коллекцию целиком взял Горный музей Ленинградского горного института (ныне Санкт-Петербургский горный университет) и выделил под неё специальный зал. Её возможно там посмотреть, если удастся проникнуть в СПбГУ с его строгой пропускной системой.

Мне кажется, что эта история экспедиции, в которой я когда-то работала, должна быть сохранена хотя бы для того, чтобы в благоприятные времена было возможно

продолжить добычу и переработку исландского шпата, а не начинать с нуля. За эту возможность – ценные сведения – благодарю А.В. Шустова (1937 – 2003), К.К. Атабаева, А.А. Фролова, Ф.И. Кувшинчикову.

Литература

1. Киевленко Е.Я. Геология и оценка месторождений исландского шпата. М.: Недра, 1974. 160 с.
2. Скропышев А.В., Кукуй А.Л. Исландский шпат. Л.: Недра, 1973. 192 с.
3. Кукуй А.Л., Атабаев К.К., Матвеева О.П. Исландский шпат России. СПб: ФГОУ ВПО СПГУВК, 2009. 195 с.
4. Шустов А.В. Простейшая механическая установка и гониометрия крупных кристаллов кальцита // Записки ВМО. 1966, ч.95, вып. 1. С. 102 – 105.
5. Яременко И.Т. След на Земле // Геология – жизнь моя. Вып. 21. М.: Росгео, 2009. С. 102 – 105.



Белов Сергей Викторович, родился в 1949 г. в Москве, доктор геолого-минералогических наук, академик РАН, лауреат премии Правительства России, премий А.Н. Косыгина и С.С. Смирнова. Почётный разведчик недр. Автор более 230 публикаций, в т.ч. 15 монографий, писатель и журналист, лауреат ряда литературных конкурсов.

В основе повести реальные события, с которыми автору пришлось столкнуться. Ему, как и немало числу геологов, пришлось работать с повышенно радиоактивными породами являющимися канцерогенами и в местах стимулирующих онкогенез. Собственно и в жизни академика Владимира Ивановича Смирнова именно царь болезней – рак поставил последнюю точку. Думается, что описанная история борьбы со смертельным недугом поможет тем, кто оказался в аналогичной ситуации.

С.Г. Белов ДЕВЯТЫЙ КОРПУС

*Совпадения имен,
диагнозов и событий
не более чем случайность*

Часть 1. Крушение

Стоял декабрь, приближались новогодние праздники, но Сергей Серов вместо предновогоднего настроения ощущал какой то внутренний дискомфорт. Интуиция подсказывала ему, что что-то не ладно в «королевстве датском» его организма. На протяжении последнего месяца вот уже в четвёртый раз случались у него повышения температуры без каких либо простудных симптомов, державшиеся два-три дня и сами собой проходившие. Вот и сегодня, после сна постель была хоть выжимай: всю ночь его лихорадило. Он лежал, прислушиваясь к себе.

Всё! – надо обследоваться, – решил Серов, хотя ходить по поликлиникам было ну уж совсем не его хобби. В свои шестьдесят пять он продолжал дружить со спортом, полагая, что крепкие мышцы и выносливое сердце так же необходимы геологу, как и светлая голова. Это было условием успешной полевой экспедиционной работы в горах, пустыне, тайге и тундре, которой он посвятил почти полвека. Дружба со спортом придавала тонус, уверенность в себе, дарила внутреннее ощущение молодости даже сейчас, спустя пять лет после выхода на пенсию.

Каждый раз, отдыхая на море, в какой ни будь Болгарии, Турции или Португалии, Серов со смешанным чувством презрения, жалости и превосходства смотрел на пляже на отдыхающих: их расплывшиеся, дряблые, порой и у молодых, некрасивые тела, сбросившие покровы одежды, были наглядной иллюстрацией физического состояния нашей цивилизации, передвигающейся в основном на автомобилях. Было понятно, что их мышцы не знали ни тяжелых подъёмов в горы, ни головокружительных спусков с них на лыжах, ни бега по лесным тропинкам, ни кайфа плавания.

В отношении последнего, это было особенно наглядно. Как-то Сергей Михайлович проводил свой отпуск в солнечной Болгарии, где среди туристов доминируют наши соотечественники. Въезжая в плоть и кровь привычка ученого к анализу разноплановой информации подтолкнула его провести у кромки моря

небольшое статистическое исследование на предмет оценки у народа умения плавать. Так вот, оказалось, что около 80% отдыхающих плещутся у берега, вообще не решаясь оказаться там, где ноги уже не достают дна. То есть плавать они не умеют. 10-15% заплывают метров на 30-50 от берега, используя стиль «по-собачьи» или русские сажёнки, когда голова полностью торчит над водой, что ужасно не экономично и утомительно (поэтому и плавают недалеко). И лишь около 5% свободно плавают по всей акватории, заплывая на сотни метров от берега и демонстрируя правильный брас или кроль. А уж если кто вдруг поплыл баттерфляем, так это вообще уникам, феномен на весь курорт «Золотые пески». Очень уж мощный надо иметь плечевой пояс, да и техника не проста, по плечу лишь людям подготовленным.

К малочисленной группе свободно плавающих относился и Серов. Наверное ещё и потому, что по знаку зодиака был он скорпион, а это знак водный и в стихии этой чувствовал он себя уверенно и свободно, как говорится, кайф ловил.

Серов всю жизнь старался держать себя в форме. Ледяные купания, гантельная гимнастика, лыжи, бег сильно помогали ему в этом. К моменту выхода на пенсию он имел довольно неплохие физические данные. Свободно мог пробежать десять-пятнадцать километров на лыжах, сделать сотню приседаний, отжаться раз двадцать, мог проплыть несколько километров. Занимался дайвингом, ходил на яхте под парусами, сплавлялся по горно-таёжным рекам, летал на дельтоплане. И даже накануне пенсии, поборов страх, получил добрую порцию адреналина, прыгнув на стометровой тарзанке в знаменитый водопад Виктория, что на реке Замбези на юге Африки.

Тело Сергея благодарно отзывалось на занятия физическими упражнениями. Он был строен, подтянут, лет своих почти не ощущал.

Вы прекрасно выглядите, – часто говорили. Надо по дереву постучать, – отвечал он.

Но дерева, увы, рядом порой не оказывалось. В общем, был Сергей Михайлович здоров! И даже писал статейки в журнал «Физкультура и спорт», делясь с читателями своим опытом здорового образа жизни.

И вот теперь приходило понимание того, что в его организме произошел какой-то сбой. Да, но какой? Его знаний явно не хватало, чтобы понять это, не смотря на то, что некоторое время в своей геологической карьере он посвятил медицинской геологии, – дисциплине, возникшей на стыке наук. Надо было обращаться к специалистам.

Врач ведомственной поликлиники, к которой он был прикреплен ещё в бытность своей работы в Академии наук, выслушав, надала кучу направлений на различные анализы и обследования. И начались хождения по кабинетам.

Поликлиника, в общем-то, была элитной, и считалось, что в ней хорошие врачи. В целом это, наверное, так и было. Однако, в ходе хождений от одного специалиста к другому Серов, как человек наблюдательный, вскоре понял, кто из них, что называется, who is who, не смотря на табличку на дверях «Заслуженный врач России». Однако, как бы то ни было, вскоре всё его тело было просвечено и прочёсано от горла до простаты, но ничего не обнаруживалось. Тогда терапевт, милая женщина, предложила сдать анализы на онкомаркеры.

– Только они платные, – сказала она.

– Хорошо, пусть так, – кивнул Серов в ответ.

Наутро он стоял в очереди к окошку, в котором оформлялись платные медуслуги. Желающих получить их было немало. Лечение, при правильной постановке дела, оказывалось в постсоветской России хорошим бизнесом. Приблизившись к окошку, Серов протянул направления на онкомаркеры.

– Зачем вам такие анализы, ведь они очень дороги, у вас что проблемы с онкологией? – спросила сидевшая в окошке девушка.

– Да вроде бы нет, а сколько это стоит?

– Сейчас скажу.

Её пальцы забегали по клавишам компьютера и через минуту она сообщила: шесть тысяч пятьсот.

Серов стал, что называется, чесать репу. Он колебался. У него был период временного безденежья, и такая сумма представлялась достаточно существенной, а ведь ещё предстояло купить новогодние подарки близким. Возникла пауза, стоявшие за ним в очереди люди начинали проявлять нетерпение. Надо было на что-то решаться.

Наконец он сказал: хорошо, я согласен.

В условиях недостатка информации, он, как правило, принимал решения, полагаясь на интуицию. А она, как ему казалось, вроде бы подсказывала, что анализы делать надо.

В последствии Серов осознал, что этот момент был своеобразной точкой бифуркации в его судьбе. Примил он другое решение, и жизнь покатилась бы по другой колее.

Через три дня он пришёл за результатом. Врач, просмотрев анализы, направила его на гастроскопию, в результате которой в желудке была обнаружена опухоль размером с кулак. Отщипнутые от неё кусочки отправлены на гистологический анализ, который должен был быть готов через десять-двенадцать дней уже после Нового года.

На Новогодние праздники Серов с женой были за городом у Кроницких. Проснувшись наутро, Сергей Михайлович ушёл в лес, окружавший посёлок. Было влажно. Мокрый снег тяжело давил на ветки ёлок. Казалось, он давил и ему на плечи. Томила неизвестность. Что принесёт этот год, шестьдесят шестой год его жизни? Две шестёрки, говорят астрологи, цифра неблагоприятная. Что покажет гистологический анализ? Что это будет за опухоль? Все эти мысли грузом ложились на душу. Он с помощью мобильного телефона сделал селфи. Посмотрел. С фотографии на него глядело несколько одутловатое лицо человека с прошлым. Мятые пряди седых волос покрывали пересечённый морщинами лоб. На лице были явные признаки душевных мук.

Долгие новогодние каникулы закончились и, придя в поликлинику, Серов узнал, что опухоль злокачественная. У него был рак желудка! Это было, как удар молотом по голове.

Как ни убийственно важным было заключение онкологов, Серов решил кроме жены не оповещать об этом многочисленных родственников, коллег и друзей. Они вряд ли чем-то могли помочь. Если и посочувствуют, то сочувствие будет скорее негативного оттенка – жалость, любопытство, внутренняя отстранённость (слава Богу, что это не со мной), навязчивость с советами и т.д. Диагноз рак, словно невидимой чертой, отделял его от остального мира. Он будто переходил в разряд неудачников, изгоев, лузеров. И с этим-то Серов не собирался мириться. Он понимал, что главным было не паниковать. Не поддаваться мысли, что всё, всё кончено, и преодолевая канцерофобию (панический страх рака), начать действовать, делая конкретные шаги по решению возникшей проблемы. Дорога к выздоровлению представлялась бесконечной, да и само выздоровление было не очевидным, но, будучи в начале пути, он, как профессионал-геолог, знал и верил, что дорогу осилит лишь идущий. И хотя какой-то червь сомнения жил в глубинах его души, он не изменил главного: Серов не собирался умирать.

Часть 2.

Онкохирургия, девятый корпус

Больница, куда он был направлен районным онкологом, располагалась на одной из бывших московских окраин, ставшей теперь, когда город разросся, чуть ли не центром. Основана она была ещё в конце девятнадцатого столетия, когда был построен

лечебный корпус на несколько коек. Этот корпус из красного кирпича служил и по сей день, выполняя уже функцию не оздоровления пациентов, а их проводов в последний путь.

Всю онкологию в больнице возглавлял блестящий учёный, доктор наук, профессор, орденосец. Но главное было не в этом. Он был, что называется, хирург Божьей милостью. От него веяло успокаивающей уверенностью, будто знал он что-то недоступное другим. Сложнейшие операции, трудные случаи – всё это было его. Даже опытные коллеги-хирурги знали, что им есть на кого положиться в экстраординарных ситуациях. Был он как в той песне: «Батяня комбат, он сердце ни прятал за спины ребят». Слава профессора гремела, поэтому не зарастала к нему народная тропа. Шли люди со своими болячками, горестями и печальми. Обликом он неуловимо был похож на персонажа Дюма, капитана королевских мушкетёров, господина Де-Тревилья. Да и собственная его фамилия писалась через чёрточку. Капитан королевских мушкетёров впоследствии, как известно, стал маршалом Франции. Больничный же Де-Тревиль тоже был маршалом, но от медицины: одно время занимал он высокий пост в городской медико-чиновной иерархии. Однако ушёл: не его это оказалось. Практическая онкология – вот была его стезя, его призвание, и он ему следовал, передавая уникальные знания и опыт коллегам и студентам на организованной им же кафедре онкологии. Часы ещё не отбивали восемь, а солидный лимузин профессора обычно уже стоял у вестибюля больницы: дел было как всегда не в проворот.

Онкохирургическое отделение, куда определили Серова, располагалось в девятом корпусе, – семизэтажном здании, отстроенном ещё в эпоху развитого социализма. Заведующий отделением, – высококлассный специалист, доктор наук, чем-то походил на папашу Буонасье – отца очаровательной Констанции из «Трёх мушкетёров».

Зайдя в его кабинет, Серов решил брать быка за рога и, обращаясь к заведующему, сказал: давайте поговорим как учёный с учёным. Я тоже доктор наук, только не медицинских, а геолого-минералогических, но, тем не менее, хотелось бы поглубже понять ситуацию, чтобы разобраться в своей болезни. Беседа сразу же потекла в нужном русле. Почувствовав собрата по научному сообществу, заведующий проникся к Серову, и, что называется, положил на него глаз.

По такому же сценарию развивались события и при посещении профессорского кабинета руководителя всей больницы онкологии, которого Серов про себя стал называть капитаном королевских мушкетёров, господином Де-Тревилем. Этот визит, повлиявший на многое в его судьбе, будто был подготовлен Божьим провидением: не случись его, покатила бы жизнь онкобольного Серова по другой колее. Потом он понял, что был этот момент ещё одной точкой бифуркации на его жизненном пути. В греческой мифологии были богини Судьбы – Мойры. Они ткали нити жизни людей и, когда подходил срок, обрезали их. Провидению же было угодно, чтобы его нить жизни на этот раз не оборвалась.

Удивительно, но и некоторые другие из врачей отделения, принимавшие участие в судьбе Серова, так же стали ассоциироваться у него с персонажами Дюма. Возможно, это было результатом нештатной работы мозга в условиях свалившейся на его голову тяжёлой болезни. Ему казалось, что первый из назначенных ему лечащих врачей-хирургов чем-то походил на Портоса. Благожелательность, доброта, мягкое чувство юмора – все это были его качества.

За время пребывания Серова в девятом корпусе, им занимались ещё два классных хирурга. Один своим обликом напоминал Арамиса. Второй, – к персонажам Дюма отношения не имел. Он, скорее, был похож на Хэмингуэя. Внутренняя уверенность, немногословность, ощущение исходящей от него силы вызывали особую симпатию. Про себя Серов называл его Хэм. Всех врачей отличал высокий профессионализм.

За время лечения Серову пришлось сделать две ходки в отделение онкохирургии. Во время первой была проведена вспомогательная лапароскопическая операция, которую сделали Портос вместе с папашей Буонасье. Вторая, после курсов химиотерапии, являлась решающей. Предстояло удалить желудок, и, как выяснилось позднее, селезёнку, а также часть кишок. Это была серьёзная полостная операция, за которую брались Де-Тревиль и Хэм.

Проведя много дней в больнице, побывав и в хирургическом и в химиотерапевтическом её отделениях, Серов имел возможность сравнивать. Несомненно, хирурги были медицинской элитой. Чувствовалась в них другая, более мощная энергетика. Сильные были мужчины. Эта профессия была по плечу не каждому и вызывала большое уважение. Обладателю её требовалась светлая голова, интуиция, мастерство, смелость и хладнокровие. Всё это и составляло талант хирурга, которому на время операции как бы переадресовывался ряд божественных функций - можно было сказать, что его скальпелем водил Бог. И это, по-видимому, ни с чем не сравнимое чувство, являлось причиной того, что хирурги по призванию оставались в профессии, не смотря на небольшие зарплаты и трудности.

Прекрасную же половину человечества в девятом корпусе представляли многочисленные сестры, санитарки, нянечки. Их усилиями создавалась милосердная, тёплая, какая-то домашняя атмосфера в отделении. Были среди них даже очень и очень милые девушки, на которых Серов, не смотря на болезнь, посматривал с мужским интересом. Даже в реанимации и, находясь, как говорится, меж небом и землёй, его ноздри фиксировали запах молодого девичьего тела, который исходил от занимавшейся им сестрички. Да что там девушки. Случайно, Серов оказался на самодеятельном концерте, посвящённом Дню медицинского работника. О, как сексуальна была исполнявшая танец живота мадам из терапевтического отделения! Небольшого роста, но с прекрасно развитой грудью, очаровательно двигавшая своим животиком, она вызывала бурю эмоций. Раз так, значит, жив был ещё в Серове основной инстинкт, поэтому-то и оставался, пусть не великий, но шанс на выздоровление, который с помощью медиков надо было успеть реализовать.

Часть 3.

Царь болезней

Взевшаяся в плоть и кровь Серова, привычка к анализу разноплановой информации, да и собственная болезнь, стимулировали у него интерес к проблеме рака. Тем более, что в своей исследовательской работе, он её однажды касался, когда изучал негативное влияние на человека так называемых гепатогенных зон, существующих в земной коре.

Изучение истории вопроса со всей очевидностью свидетельствовало, что рак существовал всегда, как и всегда существовала возможность клеточной мутации. Упоминания о раковых заболеваниях имелись в египетских папирусах за тысячи лет до нашей эры. Рентгеновские снимки мумии молодого фараона, жившего более 4000 лет назад, подтверждали, что он страдал раком кости – саркомой. Да что там древний Египет. При изучении останков первобытного человека, обитавшего в Африке аж полмиллиона лет назад, было обнаружено, что у него имелась злокачественная опухоль нижней челюсти. Более того, опухолевые изменения были выявлены учёными в костях динозавров, и других животных обитавших на Земле десятки миллионов лет назад в мезозойскую эру. Оказывалось ясным, что раком может заболеть любой многоклеточный организм, даже растение.

Таким образом, рак, по мнению Серова, мог рассматриваться как процесс, постоянно сопровождающий развитие живых организмов. Возникали вопросы: в чём резон этого феномена? Для чего Природа создала данный биологический процесс? Если

в наказание за человеческие грехи, то, как же животные или растения, у них то какой грех?

По размышлении у Серова появились некоторые априорные предположения, но для того чтобы они оформились в логически непротиворечивые ответы, требовалась проработка информации по истории взаимодействия человека, да и не только его, с Царём всех болезней.

Как известно, наибольший вклад в развитии древней онкологии внесли Гиппократ и Авиценна. Гиппократ, сочетавший наблюдения с философским мышлением, написал серию замечательных трактатов. Среди них имелся и трактат "О карцинозе". Так им был назван процесс возникновения рака. Авиценна, наделенный поистине безграничным, в том числе и медицинским, талантом, будучи придворным лекарем, порой успешно (!), ещё тысячу лет назад, лечил от рака своих могущественных пациентов.

Шли годы, сменялись столетия, рак продолжал существовать вместе с человеком. Он собирал жертвы, невзирая ни на чины и звания, образ жизни, талант или возраст.

Так, любовница Рембрандта, которую он увековечил в своих картинах, (например в образе знаменитой Данаи), болела раком груди. Как, почему? Молодая, богатая, красивая женщина, без вредных привычек, купавшаяся в любви великого художника, не знавшая ни в чём отказа, кушавшая натуральные продукты, жившая в экологически чистом и благополучном окружении: всё, как говорится, ОК по жизни, и вдруг рак! И аналогичных примеров были тысячи.

В общем, несмотря на достижения медиков древности, природа рака оставалась малопонятной, пока Ле Дран (1685-1770) не выдвинул предположение, что рак может возникнуть как локальная опухоль и распространиться на другие органы посредством лимфы. Тогда образуются отдельные островки поражений, названные метастазами. Впервые этот процесс описал Рекамье (1774-1852).

Всё это продвинуло понимание врачами ряда закономерностей в развитии ракового процесса, но не проливало свет на его этиологию. Вместе с тем, после того как в Англии был выявлен «рак трубочистов»: у них наблюдались опухоли кожи в местах, которыми они соприкасались с покрытыми сажей стенками дымоходов, пришло понимание того, что существуют вещества (ныне называемые канцерогенами), которые провоцируют развитие онкологических заболеваний.

Сегодня подобных веществ (и канцерогенных факторов) существует великое множество. Также обширна и классификация злокачественных опухолей, созданная Всемирной организацией здравоохранения, насчитывающая свыше 150 наименований.

На сегодняшний день основными видами лечения рака являются – хирургический, лучевая и химиотерапия (с частным подвидом – химиогормонотерапия). Набирает силу иммунотерапия рака. Не за горами новый вид – генная терапия рака.

Интересной и необычной показалась Серову история открытия одного из первых химиотерапевтических противораковых препаратов "мустина".

Зимой 1943 г. англо-американские войска вели вялые боевые действия по захвату южной части Италии. В ночь на 3 декабря вражеские бомбардировщики предприняли атаку на гавань в Бари. Немецкие бомбы попали только в четыре союзных корабля, но находившиеся на их борту взрывчатые вещества и горючее произвели такой разрушительный взрыв, что пострадало еще 16 судов. В углу гавани находился корабль со 100 т иприта на борту. Гигантским взрывом он был поднят в воздух и иприт испарился. Это поначалу осталась незамеченным, но в последующие дни стали очевидны ужасающие последствия.

После наблюдений, произведенных американским военным врачом Джоном Александером, было установлено, что ткани костного мозга и лимфатических узлов у людей, оказавшихся в зоне взрыва, подверглись сильнейшему воздействию. Это позволило предположить, что и для лечения рака таких тканей, вероятно, можно

попробовать применить азотисто-горчичные соединения, образовавшиеся от взрыва ядовитого иприта.

Чтобы доказать данное предположение, в дальнейшем потребовалась упорная работа, но в конечном счете это стало первым открытием поразительно эффективной группы противораковых препаратов. Несмотря на трагический характер инцидента в гавани Бари, именно с этого момента началась война на новом фронте – химиотерапевтического наступления на рак.

Говоря о перспективах борьбы с раком, следовало сказать о новой науке – эпигенетике. Греческая приставка «эпи» означает «над», «после». То есть речь идёт о более глубоком уровне воздействия на биологические организмы, чем тот, который описывается классической генетикой. Отец-основатель эпигенетики Конрад Уоддингтон показал, что сравнительно простой линейный мир, состоящий из кодов ДНК, слишком одномерен для объяснения многообразия жизни и потенциала изменчивости организмов. И существует, так называемый, второй код, который обеспечивает связь между телом, психикой и геномом. Эпигенетики установили, что в определённые периоды организм чрезвычайно восприимчив к внешним воздействиям. В подобные критические периоды даже небольшие воздействия приводят к кардинальным изменениям «линии жизни». По-видимому, именно в такие периоды и стартует онкогенез. В то же время, вероятно, именно в эти периоды и лечение оказывается наиболее эффективным, даже в случаях, казалось бы, слабых психофизических воздействий.

С этих позиций находит объяснение давно подмеченная связь между тем, что в православии именуется “смертными грехами”, и заболеваемостью раком. И первый смертный грех – гордыня, – обычная беда неординарных людей и талантов. Она, вероятно, одна из эпигенетических причин, инициирующих запуск онкологических программ. В подобных случаях методика остановки онкопроцесса известна испокон веков – это покаяние и молитва. Поэтому с точки зрения эпигенетики нет ничего удивительного в том, что ряд онкологических заболеваний лечится словом, а не только физическими воздействиями.

Вера в исцеление активизирует кору головного мозга, далее эндокринную систему и, прежде всего, надпочечники. Однако как это происходит, как мозг заставляет организм успешно самообороняться? – вопрос малопонятный, но то, что это так – реальный факт, с которым следует считаться. «По вере вашей возрадуются вам», – сказано в Писании

Существует много теорий развития рака: наследственная, химическая, вирусная, хромосомная, сложная и т.д. Но все они отражают, вероятно, различные стороны единого процесса. На сегодняшний день доказано, что любая живая клетка на Земле содержит в себе протоонкогены (особые полипептидные субстанции), которые при тех или иных обстоятельствах переходят в активную форму – онкогены. Иммунная система обычно успешно борется с ними. Но если возникает сбой в системе иммунитета, очередная раковая клетка «пропускается» и процесс начинает развиваться по нарастающей. Как и почему это случается – до сих пор до конца не ясно.

Если подходить с позиций общей биологии, то раковое перерождение клетки – это лишь один из множества возможных вариантов ее развития. Мы, люди, с нашей точки зрения, воспринимаем этот процесс как нежелательный и страшный, несущий болезнь, страдания, смерть. С точки же зрения Природы это, по-видимому, просто один из вариантов развития, имеющий право на жизнь, как и все другие.

Заслуживающим внимания показалось Серову мнение некоторых онкологов о том, что потенциально каждый человек может заболеть раком. Такое мнение основывалось на том, что с возрастом пул мутированных клеток непрерывно увеличивается, а стоящая на страже иммунная система, в силу нарастающих изменений в обмене веществ, ослабляется. Недаром ряд онкологов придерживается мнения, что

раком должен в итоге заболеть каждый человек, просто не каждый доживает до «своего рака» и погибает от инфаркта, инсульта, травмы или иных причин.

И в роду Серова рак также делал свою разрушительную работу. Его бабушка по отцовской линии в сорок восемь лет умерла от рака желудка. От рака пищевода умерла его тётя, а от рака лёгких — дядя, но, правда, было им обоим существенно за семьдесят.

Но самой драматичной была история его второй дочери от первого брака Раи. Девочке было несколько месяцев, когда обнаружилось, что у неё ретинобластома — злокачественная опухоль сетчатки глаза. Было сказано, что ребёнок проживет не более года. Для родителей это была трагедия. В институте глазных болезней им. Гельмгольца, куда они обратились, случайно состоялось знакомство с врачом, у которой свой сын болел саркомой.

Желая помочь товарищам по несчастью, врач предложила попробовать пролечить ребёнка препаратом Орлова. Лекарство не было признано официальной медициной и не прошло клинических испытаний. В ходе лечения не исключался и анафилактический шок со смертельным исходом. Но терять было нечего, и они решили использовать последний шанс. В результате инъекций препарата опухоль прекратила свой рост и как бы заизвестковалась, смертельная болезнь отступила. Но платой за излечение стала потеря зрения. Не смотря на это, жизнь продолжалась, и Рая впоследствии окончила университет, защитила диссертацию, вышла замуж и родила, слава Богу, здоровенького внука — Мишу. Такая вот была история.

Серов тогда, как и сейчас, много думал, анализировал, пытаясь понять причины Раинового недуга. У жены во время беременности обнаружился токсоплазмоз. Дал ли он толчок к развитию болезни в условиях генетической предрасположенности, характерной для этого заболевания? — можно было только строить догадки.

А я? — спрашивал себя Серов, — не внёс ли я как отец, своей негативной лепты в процесс развития Раиной болезни?

За три года до рождения дочери он впервые оказался на территориях, подвергшихся радиоактивному заражению. Их геологическая партия работала тогда на Урале, в районе Боёвского вольфрам-бериллиевого месторождения, попавшего в зону радиационной аварии, случившейся на комбинате «Маяк». Население было выселено, по краям дорог стояли знаки, запрещающие вход в лес. Тогда по молодости, он не придавал этому особого значения. Не делал он этого и позже, спустя годы, работая на полигонах по захоронению радиоактивных отходов в Подмоскowie и Красноярском крае; в убитом в экологическом отношении Карабаше; проводя геологические изыскания на ураноносных карбонатитах в Восточном Саяне или на радиоактивно фоныащих гранитах в Африке. Быть может, радиация и повредила его половые клетки, спровоцировав, таким образом, болезнь дочери, кто теперь это мог знать? — разве что Бог.

Аналогичные вопросы он задавал себе и сейчас, когда у него самого был обнаружен рак. Врачи, очевидно исходя из размеров опухоли, предположили, что её возраст составляет два года, Серов стал вспоминать, где же он был и что делал два года назад. Да, именно в это время ему пришлось работать в приэкваториальной части Эфиопии, в пределах так называемой Восточно-Африканской рифтовой зоны — огромной борозды-трещины в земной коре. Из неё поднимается поток озоноразрушающих газов, которые формируют над ней озоновые дыры. В результате и без того, типичный для юга, мощный биологически активный ультрафиолет (БАУ), многократно усиливается, результатом чего становятся интенсивные мутации, происходящие в организмах. Наглядной иллюстрацией этого являлось то, что именно в этих частях Африки жили самые высокие и самые низкие на Земле люди, встречались различные аномалии в развитии и эндемики.

Кроме того, повышенно радиоактивными были и граниты, которые тогда они изучали. Теперь приходило осознание, что все эти воздействия (сами по себе, быть может, незначительные) могли вызвать триггерный эффект, спровоцировав начало болезни. И почва для этого была подготовлена заранее. Его организм и иммунная система были ослаблены в результате затяжного стресса, возникшего за год до этого из-за конфликта на предыдущей работе.

Он предполагал, что и воздействие биологически активного ультрафиолета и радиационное воздействие обладают свойством постепенно накапливаться. И в этой связи чего только стоила (в плане канцерогенности) его трёхлетняя работа в Алжирской Сахаре: вот уж где сверху был жестокий ультрафиолет (БАУ), а снизу радиоактивность от редкометальных гранитов Тауирит, которые он излазил вдоль и поперёк. Собираала Сахара с геологов свою смертельную дань. Серов вспомнил своего друга, прекрасного геологоразведчика Лозовского, умершего там от рака крови. Да и десять лет работы под палящим казахстанским солнцем в пустынной Бет-Пак-Дале никак нельзя было сбрасывать со счётов. Притом, что пожарится на солнышке он всегда был большой любитель. Сыграл, видимо, с ним злую шутку ложный, как теперь становилось ясно, призыв Маяковского, которому он всю жизнь старался следовать: «нет на свете ничего дороже, чем крепость мускулов и бронза кожи». Вот когда это всё аукнулось ему.

В голове Серова, привыкшей за годы исследовательской работы к системному анализу разноплановой информации, складывалась такая картина. Если основываться на мультифакторной концепции возникновения рака, – думал он, – то в данном случае причин его болезни оказывалось пять. Это были:

- генетическая предрасположенность, усугубляемая II группой крови;
- неоднократная работа (за время его длительной геологической карьеры) на объектах, имевших в той или иной степени повышенную радиоактивность;
- периодическое пребывание в регионах с интенсивной инсоляцией, и воздействие биологически активного ультрафиолета;
- влияние затяжного стресса;
- ну и возраст, произошло это на 66-м году его жизни (нехорошая цифра, хоть Серов и не верил в мистику);

Становилось понятным, что в совокупности все эти факторы привели к ослаблению резистентности организма и стимулировали развитие онкологического процесса. Но что же явилось последней каплей, давшей старт неконтролируемому делению раковых клеток? Этот вопрос оставался открытым. Вразумительного ответа на него не могли дать и специалисты-онкологи. Не проясняли толком картину и результаты всяких хитрых анализов (Her-2 или FISH), сделанных ему, указывая лишь на то, что его болезнь можно лечить, например, герцептином.

Если первый и пятый факторы, в общем их наборе, были неустранимы (с генетической предрасположенностью, группой крови и возрастом ничего поделаешь), то на остальные три фактора теоретически человек мог влиять: держись подальше от радиации и БАУ, остерегайся затяжных стрессов. На практике же это ой как не просто, – думал Серов. Например, суждено тебе уродиться в поселке Белозиминск, в Саянах, разместившемся на площади, где расположено одноимённое месторождение ураноносных карбонатов, или (в силу выбранной профессии) ты вынужден работать там, – получай дополнительный мутагенный фактор. Тоже самое было и с БАУ.

Размышляя над всем этим, Серов пришёл к заключению, что онкологические заболевания это один из двух, предусмотренных Природой (наряду с сердечно-сосудистыми заболеваниями), главных, базовых способов ухода людей в мир иной. На смертность от других причин приходилась сущая мелочёвка. Если это так, а это было действительно так, то мнение некоторых учёных, что 80% факторов провоцирующих онкогенез являются устранимыми (т.е. не кури, начни правильно питаться, избегай

стрессов и т.д. и рака тебе можно практически не опасаться), оказывалось в принципе не верным. Правильнее было бы считать рак естественным, природным клапаном, регулирующим, с одной стороны, рост народонаселения, а с другой – более быструю смену поколений и обновление человеческой популяции. Но почему это так?

Для объяснения этого феномена Серов обратился к представлениям американских учёных Р. Макатура и Е. Уилсона о двух стратегиях развития живых существ: r – стратегии и k – стратегии.

По r – стратегии популяция развивается в неблагоприятных условиях среды; происходящая при этом частая смена поколений способствует закреплению мутаций, которые позволяют успешно противостоять неблагоприятным воздействиям, т.е. идет активная эволюция и приспособление организмов к неблагоприятным условиям среды.

k – стратегия предполагает долгую жизнь и характерна для благоденствия популяции при хороших стабильных условиях среды, мутации не часты, и эволюции организмов не происходит.

Возникает противоречие: индивид, как член популяции, стремится заполучить долгую жизнь, а для самой популяции требуется жизнь более короткая с частой сменой поколений, чтобы закреплялись мутации, позволяющие популяции противостоять неблагоприятным воздействиям ухудшающейся окружающей среды.

Деградация же последней у нас стала притчей во языцех, и этот процесс, как было известно Серову, развивался по нарастающей. Причём это был не только (и не столько) результат техногенного воздействия на биосферу, сколько влияние увеличивающейся интенсивности глобального вулканизма и глубинной дегазации Земли. Это, как профессионал-геолог, Серов знал совершенно точно. В таких условиях Природа очевидно и интенсифицирует процесс онкогенеза человека, пытаюсь таким парадоксальным образом противостоять негативным воздействиям внешней среды, в которой вращается современный человек. Правильность такого вывода подтверждалась параллельным ростом числа онкозаболеваний и ухудшением основных параметров окружающей среды за счёт усиления эндогенной активности Земли.

Эта эндогенная активность, как установили они вместе с коллегой из Геофизического Центра РАН, связана с солнечной активностью и характеризуется вековой цикличностью, делящейся на три 33-х летних периода. Так вот в первом 33-х летнем периоде векового цикла вулканизм и другие процессы, деградирующие природную среду, наиболее интенсивны. Начался этот период во второй половине 90-х годов прошлого века и продлится до 2025-2027 года. Затем интенсивность процессов, деградирующих природную среду, снизится.

Примечательно, что рост случаев рака в мире и смертности от него в последние десятилетия шли параллельно (рука об руку) с усилением эндогенной активности Земли. Так в 2015 году смертность от рака составила около 9 миллионов человек, а в предстоящие годы она по прогнозам учёных достигнет цифры в 11 миллионов. Учитывая такие положительные взаимосвязи между эндогенной активностью Земли и развитием рака можно было предполагать, что к концу первого 33-х летнего периода нынешнего векового цикла эндогенной активностью Земли, то есть к 2025-2027 годам число случаев рака и смертность от него снизятся. Это будет субъективно воспринято человечеством как победа медицины над Царём всех болезней.

Если данное предположение верно, думал Серов, то мы вынуждены признать, что медицина, борясь с раком, действует против главной тенденции Природы, её основополагающего вектора! В этом заключался главный парадокс онкологии!

Придя к такому выводу, Серов долго чесал репу. Как онкобольному ему было трудно согласиться с ним, но как учёный он понимал, что подобная модель имеет право на существование. В этом состояла диалектика. Приходилось признать, что полностью уничтожить рак, как базовый природный процесс, видимо не удастся в принципе. Это,

конечно, не давало оснований прекратить поиски эффективных лекарств или новых хирургических методов борьбы с этим страшным недугом.

Часть 4.

Схватка

Свою болезнь Серов воспринимал не только как выпавшее на его долю тяжкое испытание, но и как рискованное, смертельно опасное приключение, своеобразную игру, ставкой в которой была сама жизнь. Вкус этой жизни, в большей части, теперь был горьким от вливаемых в его кровь химпрепаратов и грустных мыслей. Но, как ни странно, именно эта рискованность помогала преодолевать трудности наступившей жизни. Вспоминались строки:

Есть упоение в бою, и в страшной бездне на краю.

И ещё Высоцкий:

*Из худших выбирались передраг,
Борта пробиты, и в трюмах течи,
Но капитан нам шлёт привычный знак,
Ещё не вечер, ещё не вечер.*

Да, еще не вечер, не вечер, мы поборемся, – думал Серов. Как это ни парадоксально, по ощущениям всё это, в некоторой степени, походило на оставшийся в памяти опасный сплав по горно-таёжной реке, который он как-то произвёл в Красноярском крае, или на рискованный прыжок на тарзанке в стометровый водопад Виктория на юге Африки, который он совершил в канун своего шестидесятилетия. В общем, это была схватка, схватка не на жизнь, а на смерть с жестоким противником, имя которому было Рак.

Ему стал ясен и смысл дотоле не вполне понятного стремления человека к Танотосу, то есть к смерти, о котором писал ещё Фрейд. Основополагающим вектором всех стремлений человека являлось стремление к получению максимальных ощущений. И когда человек реально оказывался один на один со смертью, то возникала мощнейшая буря эмоций и ощущений, не сравнимая даже с эмоциями эроса и любви. Серов мог сравнивать: в его жизни Бог давал ему и большую любовь. Он на себе ясно прочувствовал и осознал, что в человеке в подобный момент происходит мощнейший выброс психической энергии; настоящая гормональная буря сотрясает его, и задача состояла в том, чтобы эту колоссальную энергию направить в русло выздоровления. В противном случае, она оказывалась деструктивной и быстро разрушала и без того ослабленный организм. Но как, как это сделать? – думал он.

В первую очередь, что приходило в голову, была, конечно, молитва. Его жена Анечка, Анна Петровна, как большинство женщин, более остро чувствующих, первая поняла это. В чем ей, очевидно, способствовало и то, что её предки были священнослужителями.

Надо ехать в Сергиев Посад, в лавру, поклониться преподобному Сергию, – сказала она.

Был уже март, шел Великий пост. Народу в лавре было немного. Стоя в очереди к мощам Сергия, Серов старался ощутить флюиды, которые (он мог точно сказать), несомненно, присутствовали в древней церкви, где покоился величайший святой земли русской.

Родители Серова, как и большинство в Советском Союзе, были далеки от религии. А мать – так и вообще была некрещеной. Быть может последнее, как раз и стало одной из причин, её тяжёлой и продолжительной болезни: отсутствовала защита со стороны высших сил. Серов, слава Богу, был крещён ещё младенцем. Прожив жизнь, он не был воцерковленным человеком и бывал в храмах время от времени. Тем не менее, он, пусть и поздно, но осознал, что его ангелом-хранителем, несомненно, является святой Сергий,

в честь которого он был назван. И теперь, припадая к мощам его, он просил заступничества и помощи.

Потом, выйдя из лавры, они с Аней поднялись на смотровую площадку. Монастырь лежал внизу. Тяжелые свинцовые тучи висели над древней обителью. Вдруг в тучах возник просвет, и яркий луч солнца озарил купола, заблеставшие золотом. Это был явный знак им. Серов тогда впервые почувствовал и осознал, что он принят под покров Пресвятой Богородицы и Преподобного Сергия. На душе стало легче и спокойнее: будто свыше сказано им было, – правильно, правильно всё делаете.

Спустя неделю они с Аней ехали в Новоспасский монастырь, чтобы молиться перед почитаемой верующими иконой Всецарицы, Пресвятой Богородицы и просить у неё помощи и заступничества. Древняя икона являлась списком той, что находилась в Греции на горе Афон. Фрески на стенах старой монастырской церкви, казалось, шептали им: «Так, так, молитесь, просите, и дадено вам будет».

В ответ на их молитвы чудесным образом вскоре пришёл ответ. Неожиданно, от живущего за рубежом старого друга Серова, побывавшего в Греции на горе Афон (с которым они ещё в молодости служили матросами на ледокольном пароходе «Борец»), пришла бандероль. В ней был образ Всецарицы и освящённый поясок Богородицы. Как это, почему? Таких совпадений не бывает. То был, несомненно, ещё один знак: ты под покровом Богородицы и твои молитвы услышаны. Это событие явилось мощным импульсом, придававшим силы для борьбы с жестоким недугом. Серову казалось, что от пояска, которым он повязался, исходила какая-то вливавшаяся в него сила и энергия, постепенно приводившая его тело и дух в оптимальное боевое состояние, настраивавшая на поединок с беспощадным противником. В своё время он занимался каратэ, и это состояние немного напоминало ему чувства, которые он тогда испытывал при подготовке к жёстким спарринговым боям.

И Серов настраивался на смертельную схватку, готовясь испить до дна выпавшую на его долю чашу страданий. Для себя, внутренне, он решил, что за просто так, не сдастся, и если даже проиграет, то встретит смерть достойно, с честью, как подобает мужчине. Потому как честь превышает смерти. Он может быть побеждён, но не сломлен!

Оказавшись в девятом корпусе, он окунулся в царство теней, которыми были онкобольные, бродившие по коридору онкохирургического отделения. Небрежно одетые, непричёсанные, многие деморализованные и махнувшие на себя рукой, они казались посланцами с того света, хотя жизнь их ещё продолжалась. От их фигур веяло унынием и безнадёжностью. Их собственная позиция по большей части была такой: вы врачи, вот и лечите меня, а я никаких усилий прилагать не собираюсь. Они были раздавлены свалившейся на них бедой. И было видно, кто из них уже заранее проигрывал схватку с Раком ещё до выхода на ринг. Способность чувствовать это осталась у Серова видимо ещё со времён занятий каратэ, когда он, до начала поединка, всматриваясь в соперника, мог оценить исход боя.

Опытный же глаз профессионала-врача сразу вычленил пациента, который не выздоровеет, врач знал: когда у больного определённое выражение лица – надо готовиться к проблемам. Проведя долгое время в больнице, Серов тоже научился понимать, кто среди пациентов отделения, был уже, что называется, не жилец. В этих людях не чувствовалось жизненной силы, праны, которая покидала их. Было видно, что если человек примирился с мыслью о скорой смерти, ему оставалось только ждать её. Ломался, какой-то духовный стержень и организм начинал функционировать по инерции, а когда она заканчивалась, впереди не оставалось ничего кроме неизбежного конца.

В общем, за дни подготовки к операции, наблюдая и думая, он внутренне осознал, что помимо искренней веры в поддержку высших сил, условием победы над смертельной болезнью является позитивный настрой, своеобразная психологическая подготовка,

приведение организма в оптимальное боевое состояние. Это, несомненно, требовало большой внутренней работы, самодисциплины, недопущения пораженческих настроений, обращения к своему подсознанию. Серов использовал элементы медитации и аутогенной тренировки, проговаривая про себя формулировки, настраивавшие подсознание и организм на позитив. Как сказано в Писании: «В начале было слово». И он говорил слова своему организму, убеждая его, что всё, всё будет хорошо. Это была не простая работа, казавшаяся, порой не очень эффективной. Но это было не так: его организм учился слушать то, что ему внушалось, откликаясь на это незаметными, на первый взгляд, но очень важными изменениями. Уверенность, что он больше, чем просто физическое тело, стала мощным позитивным фактором. Жизненная энергия, прана, постепенно аккумулировалась в нём, чтобы в решающий момент выплеснуться в смертельной схватке.

Наконец, многочисленные предоперационные анализы, рентгены, УЗИ и томографии были закончены, на артериях и венах стояли катетеры, в кровь были влиты литры различных лекарств и растворов, завтра операция: Де-Тревилью и ассистировавшему ему Хэму предстояло вторгнуться во внутренности Серова, чтобы сразиться с коварной болезнью.

Жене Ане было сказано, что операция предстоит тяжёлая и ей следует набраться терпения и мужества: случиться может всякое. Бедная Анечка похудела, страдания, казалось, просветлили её лицо, подчеркивая милые черты. Серов смотрел в любящие глаза и говорил себе: «Я не могу, просто не имею права не победить: ради неё, ради своих близких, которых я не смею огорчать».

Проснулся он рано. Яркое утреннее солнце светило в окна больничной палаты, за окном беззаботно чирикали воробьи, первые порции офисного планктона тянулись на службу. Всё было как всегда. Начинался день, который (кто знает?) мог стать и последним в его жизни. Серов про себя шептал слова собственной молитвы, составленной из канонических текстов.

*Пресвятая Богородица, Всецарица небесная,
Благослови ум, руки и совесть врачующих нас.
Да послужат они орудием Всемошного врача
Иисуса Христа, Спаса нашего.
Укрепи дух мой и исцели немощное тело моё.*

Прикатили носилки. Пора, – сказала сестричка. Серов приподнялся, намереваясь забраться на них. Нет, нет, – раздевайтесь полностью. Он стянул с себя последнее, что на нём было, и его гладкое, заранее выбритое тело вытянулось, готовое двинуться в операционную. Подошла ещё одна сестра, его накрыли простынёй, и они покатали его в операционную, туда, где врачи готовились дать бой коварной и жестокой болезни, собиравшей с пациентов свою смертельную дань.

Софиты в операционной горели неземным голубым светом. Анестезиолог заставила его согнуться и ввела шприц в спинной мозг. Серов вздрогнул и стиснул зубы, стараясь не застонать. Молодец, молодец, – поддержал его Хэм. В это время в операционную вошел Де-Тревиль, он был собран, серьезен и решителен, как командир перед сражением. Всё, всё, всё, – сейчас будет хорошо, – успокоила Серова анестезиолог и положила на его лицо маску, из которой пошёл газ. Наркоз начинал действовать.

Последнее, что он помнил, было странное видение: он будто бы плавал под водой, вдалеке резвились акулы; вдруг в его руку, что-то вонзилось; взглянув, он увидел, что огромный рак своими клешнями вцепился в кисть. Серов изо всех сил рванулся вверх, заработал ногами, стараясь всплыть и сбросить с себя ужасные клешни. Когда силы,

казалось, были на исходе, он последним усилием устремился к поверхности и, вынырнув из воды, с облегчением втянул в себя воздух. Рака на руке не было.

Действие наркоза закончилось ещё в операционной, когда его стали перегружать на носилки, чтобы доставить в реанимацию. Обычно туда привозили бесчувственных пациентов, не отошедших от наркоза, и они приходили в себя постепенно. В случае же Серова анестезиолог немного не рассчитала. Операция вместо запланированных трёх часов продлилась четыре с половиной. Дело в том, что когда брюшная полость была вскрыта, у Серова, ко всему прочему, был обнаружен перитонит: Де-Тревилью пришлось дополнительно возиться и с этим. В общем, в ходе комплексной, мастерски проведённой им операции были удалены желудок, селезёнка и часть воспалённых кишок.

Серова перегрузили на носилки. Наркоз перестал действовать, и всё его существо охватила адская боль. Никогда дотеле в жизни он не испытывал ничего подобного. Казалось невозможным передать это словами. Боль была такова, что он готов был просить смерти как избавления. Оказывается (он теперь это знал), есть и такая боль.

Носилки торопливо покатали в реанимацию, которая от операционной находилась несколькими этажами ниже. Такое её расположение, очевидно, не было оптимальным. Путь туда показался Серову бесконечным, невыносимая боль терзала всё его существо. «Бля...а...ать!» – это ругательство вырывалось у него непроизвольно. Так, в обычной жизни он вскрикивал, когда случайно ударял молотком по пальцу. Вот и теперь, этот вопль нёсся из его уст, не контролируясь сознанием. «Укол, дайте укол!» – был он.

Как-то, в средневековом бельгийском городке Брюгге, Серов видел старинную картину: палач сдирает кожу с живого человека, еретика. Что-то подобное он чувствовал и сейчас, подбираясь к границе болевого шока. К счастью, они были уже в реанимации и вколотый ему наркотик, оказался как нельзя кстати. По жизни Серов никогда не баловался наркотой, поэтому действие его чётко осталось в памяти. Казалось, будто щёлкнул какой-то выключатель, и уровень боли стал резко снижаться. Нет, боль не пропала совсем, оставшись где-то в глубине тела, но была она уже такой, что позволяла как-то существовать. Под воздействием укола вскоре он провалился в рваный, перемежаемый кошмарными сновидениями сон.

Время, проведённое в реанимации (а он находился там пять дней), воспринималось им, как если бы эти дни он был распят на кресте. Особенно тяжелы были первые два дня, когда находился он, что называется, между небом и землёй. Де-Тревиль заходил, чтобы проконтролировать ситуацию и поддерживать его. И Серов, через силу улыбаясь доктору, твердил себе: «Я должен держаться, я не могу, не имею права подвести этого прекрасного хирурга, взявшегося мне помочь». Вспоминались слова старой блатной песни:

*Врач резал вдоль и поперёк, он мне шепнул, – держись браток,
Он мне шепнул, – держись браток, и я держался.*

Сейчас врач уже не резал, но было стрёмно. Его тело было опутано всевозможными датчиками, зондами жизнеобеспечения, капельницами и проводами. Информация выводилась на монитор. Он лежал на спине, повернуться было невозможно. Вот тогда то он понял, как образуются у больных пролежни. Спина постоянно была мокрой от пота, к тому же кровать была покрыта клеёнкой, что только усугубляло дело. Мышцы спины затекли, одеревенели, их сводило от боли, и спина, а не только разрезанный живот, горели огнём. Но он держался, превозмогая боль, дурноту и слабость. Его губы шептали слова молитв. Медленно тянулось время. Часы от рассвета до заката казались вечностью и чтобы скоротать их и отвлечься оттого, что творилось в его организме, Серов, помимо молитв, шептал про себя стихи. Часто это был Киплинг.

*О, если ты спокоен, не растерян, когда теряют голову вокруг,
И если ты себе остался верен, когда в тебя не верит лучший друг.*

*И если ты своей владеешь страстью, а не тобою властвует она,
И если твёрд в удаче и несчастье, которым в сущности одна цена,
И если можешь сердце, нервы, жилы так завести, чтобы вперёд нестись,
Когда с годами изменяют силы и только воля говорит, держись,
И если милями ты меришь расстояние, минутами свой, измеряя бег,
Земля твоё, мой мальчик, достоянье, и более того, ты Человек!*

Мужественные стихи помогали. Он много думал о жизни, времени на размышления у него было с лихвой.

Часть 5.

Возвращение

Наконец Серов был перевезён из отделения реанимации в палату, из которой был забран на операцию. Обычно прооперированные больные возвращались из реанимации на второй-третий день. Он же пробыл там пять суток и некоторые из его соседей по палате стали подумывать: а вернётся ли он сюда вообще, или его путь будет лежать в старый корпус из красного кирпича, где размещалось патологоанатомическое отделение?

– О, а мы уж стали за тебя беспокоиться, всё нет и нет, – воскликнул, с угловой койки толстяк Ваня, встречая носилки с Серовым.

– Всё нормально, всё ОК, – ответил Серов, хотя до ОКея было, ох как далеко. Он был вымотан, слаб и беспомощен. Из всех природных и искусственно проделанных в его теле отверстий торчали трубки различных зондов, дренажей и катетеров. И, тем не менее, он был рад, и свой переезд в палату онкохирургического отделения воспринял как возвращение в родные пенаты. Он мечтал о нём, лёжа в реанимации. Было ясно, что кризис остался позади, и теперь предстоял длительный и не простой процесс реабилитации. Надо было учиться жить без желудка, селезенки и кое-каких кишок.

Его жена Аня позаботилась об этом заранее, договорившись с сиделкой, и теперь он был поручен заботам Маши, приехавшей с Украины на заработки. Её помощь оказалась бесценной. Беспомощное тело Серова жило своей жизнью: по трубкам и дренажам сочились отходы жизнедеятельности, и Маша следила за всем этим, подмывая его как младенца, меняя пелёнки и памперсы.

– О, хорошо, каканька вышла, – простодушно комментировала Маша физиологические отправления его организма. Она всё делала ловко и профессионально, за плечами у неё было медучилище и опыт. Никогда Серов не думал, что окажется в подобной ситуации. Ему было стыдно своей беспомощности, но что он мог поделать?

– Надо поскорее выкарабкиваться из этого состояния, – внушал он себе. Это помогало. Как помогало и внимательное отношение врачей: Хэма, Портоса и Арамиса, назначавших ему, по согласованию с Де-Тревилем, курсы различных поддерживающих инъекций и капельниц и профессионально ориентировавших Серова на скорейшее выздоровление. Постепенно он окреп и стал самостоятельно совершать вояжи до туалета. Это было существенным достижением. В общем, как говаривал известный политик: процесс пошёл.

Вернувшись в шестиместную палату, Серов, перенесший две операции и несколько курсов химиотерапии, стал местным авторитетом: предметным знаком этого были шрамы на его теле. Палата, как всякий микро коллектив, жила своей жизнью. Поступавшие больные консультировались у него по проблемам онкологии, спрашивали совета. Он, наверное, чем то походил на смотрящего в тюремной камере. Его шрамы играли роль знаковых татуировок, указывающих на статус. Соседи по палате сознавали, что этот человек прошел то, что им ещё только предстояло.

Условием успешной реабилитации была и соответствующая еда. Маша доставляла её ему из столовой, разнообразя тем, что приносила Аня. Серову, как

авторитету, не надо было ходить в столовую, одно посещение которой навевало тоску. Собравшиеся вместе, – угрюмые, неряшливо кушающие онкобольные с потухшими взглядами, крошки, застрявшие в нечесаных бородах, пролитый на столах суп, не съеденные остатки на сваленных тарелках, специфичный запах и вкус больничной пищи, – всё это отбивало аппетит, вызывая желание поскорее покинуть столовую.

Такая ситуация явно не способствовало выздоровлению. Питание в подобной обстановке безвкусной пищей вызывало угнетённое состояние нервной системы, что возможно более отрицательно сказывалось на организме, нежели простое пренебрежение диетами. Серов осознал, что вкусная еда и приятная обстановка являлись дополнительными факторами, ускорявшими реабилитацию и позитивно влиявшими на здоровье. Это всегда знали великие гурманы французы. Это хорошо понимал выдающийся философ Эммануил Кант, предпочитавший вкусно обедать в компании добрых друзей. Пища тогда усваивалась лучше. У Серова же с процессом усвоения пищи были проблемы. При отсутствии желудка еда пролетала, почти не задерживаясь. Кроме того, полезная микрофлора, в его пищеварительном тракте была убита многочисленными антибиотиками, что сильно мешало его нормальной работе. Но что делать, надо было учиться жить с этим.

Радостная, светлая полоса в связи с переводом в свою палату сменилась чёрной. Требовалось не поддаться и не свалиться в депрессию. Было ясно, что много энергии организмом отдано, чтобы после операции акселерировать выздоровление, и вот теперь её запас исчерпался. Организм просил отдыха, требуя время, чтобы собраться с силами для следующего рывка. То, что таких рывков потребуется не один, было очевидно.

И всё же главное состояло в том, что смертельная болезнь, кажется, была побеждена: гистологические анализы подтверждали это. Пережитая опасность склоняла к откровенности. Надо было, прежде всего, для себя, честно ответить на вопрос: а что же стало залогом данной победы? Важным было это как для товарищей по несчастью, которым опыт Серова мог помочь в собственной борьбе, так и для медиков: им взгляд изнутри мог стать полезным дополнением в лечении онкобольных, которых они наблюдали со стороны. Размышляя над данным вопросом, Серов пришёл к выводу, что факторов выздоровления было пять, как пять (!) было и причин его болезни. Ему представлялось, что это были:

1. Встретившиеся на его пути опытные врачи, владеющие высокотехнологичными методиками лечения рака (прежде всего, Де-Тревиль, к которому Серов испытывал искреннюю признательность).
2. Вера и поддержка божественных сил. Ему казалось, что он находился под покровом Пресвятой Богородицы, Преподобного Сергия и Бог пребывал в нём.
3. Позитивный психологический настрой, ставший следствием серьёзной работы над собой, приведший к внедрению в сознание мысли о том, что не смотря ни на какие препятствия, «всё будет хорошо»!
4. Мощная поддержка родных и близких и, прежде всего, жены Ани. Серову очень уж не хотелось огорчать дорогих ему людей скорым летальным исходом.
5. Как ни странно, одним из факторов, что всё завершилось благополучно, стали деньги, и было бы нечестным умалчивать об этом.

Да, приходилось признать, что компонентом победы над коварной болезнью оказались деньги: эти презренные бумажки, за которыми Серов никогда не гонялся. Нет, он их не презирал, нет, просто относился к ним спокойно, понимая, что ими, как эквивалентом, измеряется многое в этой жизни. Многое, соглашался он, но не всё. Разве

можно было купить за деньги счастье поисков и открытий, радость творчества, талант и уважение коллег, настоящую любовь или сильное здоровое тело? Он давно понял, что количество дензнаков в его карманах прямо не коррелировалось с ощущением счастья, которое он порой испытывал.

Теперь же, после того, как на него свалилась беда, Серов понял, что был в чём-то не прав. Рынок, в котором жила страна, распространялся и на медицину, в которой крутились большие деньги. Высокотехнологичные медицинские услуги (а при лечении рака они были особенно необходимы), стоили недёшево. Если же учесть лекарства, хитрые анализы, различные обследования и консультации, всё это выливалось в круглые суммы. Страховые компании, контролировавшие данную сферу, стремились минимизировать свои расходы, переложив их на плечи больных и их родственников. Что вы хотите, – было однажды сказано Серову, – спасение утопающих, дело рук самих утопающих. По жизни он понимал, что дело обстоит именно так. Люди с деньгами, звёзды, олигархи предпочитали лечиться в Израиле или Германии, но и это не гарантировало стопроцентного успеха: недавние драматические истории Елены Образцовой или Анны Фриске были наглядной иллюстрацией этого.

Волею Судьбы, покрутившись в медицинском мире, Серов понял, что одни лишь деньги, обычно не решают проблему, но их наличие, порой, существенно помогает. Медики обычно хорошо чувствуют статус пациента. Поэтому в первых рядах очереди на получение высокотехнологичной медицинской помощи, как правило, находятся те, у кого есть money.

Серов не был богат. Его семья жила чисто и честно. Они понимали, что борьба с раком потребует денег. Но когда стоимость лечения суммарно стала сопоставима с ценой среднего автомобиля, он призадумался: надо было изыскивать средства. Хорошо, что руководство компании, в которой он работал, оказало финансовую поддержку, да и тесть помог. Давая деньги, старик сказал, – никогда богато не жил, а теперь и начинать нечего, так что держи, Сергей.

В отечественной государственной медицине принцип был такой: мы денег за лечение не берём. Если же пациенту захочется как-то отблагодарить своих целителей, то это его право. Психологически Серов, усилиями врачей выведенный на путь выздоровления, испытывал к своим избавителям от смертельного недуга глубокое уважение и признательность. Да, о чём говорить, ему же добавили годы жизни! Было просто необходимо, каким то образом выразить данные чувства, что собственно и было сделано. Это являлось естественным стремлением пациента, и ни о какой коррупции здесь не могло быть и речи. Не мог же, например, считаться коррупцией случай, когда Авиценна получил от исцелённого им Эмира Бухарского в знак признательности перстень с драгоценным алмазом.

Наконец операционные швы были сняты. Настал день выписки: предстояло покинуть, ставший почти родным, девятый корпус. Стоял ясный июльский день. Сияющая голубизна, промытого ночным дождём неба, ласкала глаз. Воздух был прозрачен и свеж. И Серов наслаждался, вдыхая его полной грудью. Как там у Высоцкого: «Я дышу, а значит, я живу»! Больничная эпопея заканчивалась, начиналась другая жизнь, к которой ещё предстояло адаптироваться. Требовалось научиться жить без желудка, преодолевая различные изжоги и кишечные колики, наваливавшуюся внезапно слабость и дурноту. Но он был готов к испытаниям. Главным было то, что в смертельной схватке он, с Божьей помощью, победил Рак, этого царя всех болезней. Или, быть может, коварная болезнь лишь временно отступила, проиграв первый бой и, до поры до времени, затаилась? Нет, я выиграл, выиграл, прочь сомненья! – говорил себе Серов.

В общем, его Ангел-Хранитель и на этот раз отвёл от него беду. В его жизни подобное случалось не раз. Серов стал вспоминать. Впервые это случилось в детстве, когда он был храним от взрыва неразорвавшегося немецкого снаряда, который они, мальчишки, нашли на поле в подмосковном Дорохове. Второй раз он чуть не погиб на горном плато в Хибинах, когда по снежнику его несло в пропасть. Каким то чудом, срывая ногти и обморозив пальцы, ему, в последний момент, удалось остановиться. В третий раз он очень вовремя был доставлен в больницу Норильска и, как сказал оперировавший его врач, – ещё немного и никакая операция его уже бы не спасла. В четвёртый раз Провидение хранило его, когда вместе с Аней они путешествовали в горах Атласа в Африке, и их машина перевернулась. Как память об этом чудесном спасении благодарственная табличка Богородице с их именами навеки осталась вмонтированной в неф Алжирского собора Нотр Дам де Африк. Случай с раком был пятый в его жизни. Опять пятёрка (!). – Исчерпал ли я лимит, отведенный мне Судьбой? – спрашивал он. Но кто кроме Господа мог это знать.

Как бы то ни было, надо было жить, надо только умно жить, – так, кажется, говорил один из героев Шукшина. И испив, выпавшую на его долю чашу страданий, Серов теперь вступал в эту новую жизнь уже другим человеком. Он сознавал, что цель (или план), который он обязан выполнить на Земле, до конца ещё не реализован, поэтому уходить в вечность, из которой мы пришли и куда уйдём, было пока рановато.

Научное издание

СМИРНОВСКИЙ СБОРНИК – 2017
(Научно-литературный альманах)

ПРОБЛЕМЫ МИНЕРАГЕНИИ,
ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ГЕОЛОГИИ И МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

Часть I. Презентация компании «АЛРОСА», генезис кимберлитовых
месторождений и экономика минеральных ресурсов

Часть II. Геологическое строение, структура и алмазоносность
кимберлитовых полей якутской и архангельской минерагенических
провинций

Часть III. Воспоминания, научно-популярные и литературные
произведения

Главный редактор: *В.И. Старостин*

Редакционная коллегия:

А.Л. Дергачев, П.А. Игнатов, Г.В. Ручкин

Подготовка оригинал- макета выполнена в Межфакультетской
лаборатории экономической геологии МГУ

Компьютерный дизайн и верстка:
Р.Ю. Ермаков, А.М. Стойнова

Напечатано с готового оригинал-макета

Подписано в печать 06.12.2017 г.
Формат 70х100 1/16. Усл. печ. л. 34,45. Изд. № 298.

Издательство ООО «МАКС Пресс»
Лицензия ИД N 00510 от 01.12.99 г.

119992, ГСП-2, Москва, Ленинские горы,
МГУ им. М.В. Ломоносова, 2-й учебный корпус, 527 к.
Тел. 8(495)939-3890/91. Тел./Факс 8(495)939-3891.

Отпечатано в АО «Первая Образцовая типография»

Филиал «Чеховский Печатный Двор»

142300, Московская область, г. Чехов, ул.

Полиграфистов, д. 1

Сайт: www.chpk.ru. E-mail: marketing@chpk.ru

факс 8(496) 726-54-10, тел. 8 (495)988-63-87

Заказ №