

«Природа хранит тайны своих «лабораторий»

Начался новый учебный год. Не за горами время, когда выпускники школ начнут подавать заявления о приеме в российские университеты и институты. Традиционно многие из них мечтают учиться в Московском государственном университете. В том числе, устремятся они и на один из старейших факультетов МГУ — геологический, далеко не всегда понимая, что это за наука — геология — и зачем она сегодня нужна. А она не просто нужна — остро необходима, уверен декан факультета, академик РАН **Д. Ю. Пушаровский**. Современные проблемы геологии и подготовка молодых специалистов, способных их решать, — важнейшие вопросы, которые сегодня волнуют многих представителей этой науки. Об этом наш разговор.

— *Дмитрий Юрьевич, почему геологический факультет стал одним из первых в МГУ?*

— Действительно, наш факультет — один из старейших в Московском университете. Свое 80-летие мы отметили 15 февраля в Доме культуры МГУ на Ленинских горах. Геология начала развиваться еще со времен М. В. Ломоносова, придававшего ей огромное значение. Дух истории витает в стенах факультета, где в огромных застекленных шкафах застыли останки древних организмов, а из витрин загадочно поблескивают многочисленные минералы.

Видимо, для того, чтобы все помнили: наука — это не только серьезно, но и весело, на одном из шкафов красуется плакат: «У организма есть только два пути: стать ископаемым или исчезнуть».

В основе такой чрезвычайно интегральной науки, как геология, по-прежнему лежит изучение вещества,



горных пород, минералов и других «продуктов» природных процессов. Еще со времени В. И. Вернадского, возглавлявшего кафедру минералогии Московского университета в период 1890—1911 годов, геохимическое в самом широком смысле направление факультетских исследований получило мировое признание.

Наша наука не просто очень интересна — она необычайно важна. Мы готовим специалистов, которые обеспечивают почти половину внутреннего валового продукта в мире. Сегодня все понимают, какую роль играет геология в России. Именно геология обеспечивает 70% нашего экспорта и развитие многих промышленных отраслей. Ведь 32 процента мировых запасов полезных ископаемых находятся в нашей стране. Спрос на них постоянно растет. Например, за последние пятьдесят лет потребление энергетических ресурсов — в частности, нефти, выросло в десять раз, притом, что население увеличилось в два с половиной раза. Это значит, что темпы потребления этих ресурсов увеличиваются. Встает вопрос о том, насколько их хватит. Так вот, при нынешних тем-

пах мировой добычи — 4,5 миллиарда тонн, а в России это примерно пятьсот миллионов тонн нефти в год, теперешних запасов должно хватить на 20—30 лет. Конечно, постоянно ведется поиск новых месторождений, но нужно понимать, что из почти 3 тысяч месторождений основная часть запасов нефти сосредоточена в нашей стране в 20 уникальных (более 300 миллионов тонн) и 112 крупных месторождениях, на открытие которых трудно рассчитывать. При этом глубина нефтяных скважин за последние 10 лет возросла с 2,6 тысяч метров до 3 километров, и, соответственно, затраты на добычу одной тонны за это же время увеличились почти в 3 раза.

— *Возникает вопрос — что же дальше?*

— Около десяти процентов нефти остается в уже покинутых месторождениях из-за того, что они очень трудно извлекаемые. Но это огромное количество, и если научиться их извлекать, это будет выходом. Сейчас над этим многие работают. В частности, разработаны плазменно-импульсные технологии добычи этих запасов из уже оставленных месторождений, в старых скважинах, в коллекторах. Извлекая их, еще тридцать лет можно обеспечивать этими энергоресурсами нашу промышленность. Но, опять же, это малый срок.

Поэтому наши геологи работают над технологиями извлечения нефти из высокоуглеродистых сланцевых пород. Огромные территории в Западной Сибири площадью в один миллион квадратных километров в этом плане очень перспективны. Именно из глинисто-кремнистых пород этого региона с возрастом 145 миллионов лет в 2017 году было добыто 10 миллионов тонн нефти.

— *Какие еще вы видите источники будущих энергоресурсов?*

— Безусловно, это океанский и морской шельф. Добыча нефти на шельфах российских морей в 2016 году составила 2,6 миллиона тонн, что составляет около 4% ее годовой добычи. Интересно, что площадь Ледовитого океана в десять раз меньше, чем Тихого, а его нефтяные запасы в пять раз больше. Еще и поэ-



Арктический шельф

тому Арктический шельф — весьма заманчивый регион. По некоторым оценкам, здесь сосредоточено около 30% запасов нефти на Земле. Однако добыча нефти на шельфе и из высокоплотных пород предполагает применение новых технологий, а их ресурсы рассматриваются как трудноизвлекаемые.

Не менее важное направление — добыча твердых полезных ископаемых. Ведь каждый из нас в течение своей жизни использует более 1700 тонн металлов и минералов. В конце двадцатого века применялись в основном 20 металлов. А сейчас, благодаря гаджетам, которые у всех есть, — телефонам, планшетах, ноутбукам и так далее, — число таких металлов выросло до шестидесяти. За последние сто лет только потребление меди выросло в 37 раз. Если 100 лет назад продуктивными считались месторождения с содержанием меди порядка тринадцати процентов, то сейчас это число сокращено до 0,2—0,5%. И здесь в основном помогает совершенствование технологий комплексного освоения таких месторождений.

Вообще развитие цивилизации с древних пор было связано с потреблением металлов. Скажем, те же медные месторождения начали разрабатываться за 4200 лет до Рождества Христова. Древнейшее месторождение Тимна на восточной окраине Синайского полуострова, известное еще 6000 лет назад, используют сейчас как достопримечательность, как туристический объект,



а когда-то оно процветало. Возможно, что это — первое место на Земле, где человек начал добывать медь. Именно здесь находился один из известных в мире медных рудников.

— *Дмитрий Юрьевич, но ведь добыча полезных ископаемых нередко предполагает и немалый экологический ущерб.*

— Эта проблема существует. Одна из важнейших задач — очистка территорий от свалок и отходов, большинство из которых носят стихийный характер. Это огромные площади. Только в России территории, занятые рудными отвалами и свалками промышленных отходов, составляют 4 миллиона гектаров, что равно площади таких стран, как Швейцария или Голландия, в 2 раза превышает площадь Словении или Израиля и в 4 раза — площадь Кипра. В России уже накоплено 1000 тонн отходов на одного жителя. В Мировой океан ежегодно выбрасывается 13—14 миллионов тонн нефтепродуктов и 8 миллионов тонн пластикового мусора. В результате загрязнений ежегодно исчезает около 150 биологических видов, а в течение XXI века могут полностью погибнуть белые медведи, кенгуру, черепахи, тигры и другие животные.

С решением экологических проблем связана и охрана поверхностных и подземных вод. За последние 40 лет количество чистой пресной воды в расчете на каждого человека уменьшилось на 60%. Сейчас 2 миллиарда людей в более чем 80 странах имеют ограниченное обеспечение питьевой водой. При этом для человека легко доступен лишь 1% водных запасов, а 25% пресной воды сосредото-

Крупнейшее месторождение меди в Челябинской области

чено под землей. Поэтому подземные воды имеют стратегическое значение, поскольку они более защищены от внешних воздействий, а задача сохранения их чистоты и рационального использования также относится к приоритетам нашей науки.

— *Не так давно глава «Роснефти» И. И. Сечин рассказал президенту страны В. В. Путину об открытии нового нефтяного месторождения на шельфе Хатангского залива моря Лаптевых. Насколько я знаю, геологический факультет имеет к этому открытию прямое отношение?*

— И к открытию, и к дальнейшим исследованиям. Наши преподаватели, сотрудники и аспиранты проводили исследования возраста, пористости, насыщения нефтью и других свойств вмещающих пород, а также изотопного состава нефтей. Без этих данных невозможно дать характеристику этого важного для страны открытия.

— *Дмитрий Юрьевич, скажите как ученый-минералог: увеличивается ли количество известных ученым минералов или они открыты уже все?*

— Выдающийся ученый-геолог, один из признанных лидеров отечественной и мировой минералогии академик Н. П. Юшкин (1936—2012) писал: «Наиболее информативным показателем развития минералогии является число известных ей на определенный исторический момент минеральных видов». С этим трудно не согласиться, но сразу возникает вопрос: как изменялось это число в процессе эволюции

Земли и сколько же минералов известно в наше время? Пылевидные частицы дозвездных молекулярных облаков содержали около 10 жаростойких минералов. Их последующая гравитационная агрегация в звездных туманностях на допланетной стадии развития солнечной системы могла привести к образованию 69 минеральных видов, о которых судят по наиболее тугоплавким компонентам хондритовых метеоритов.

Дальнейшие процессы растворного и термического воздействия на хондриты, а также процессы астероидной аккреции и дифференциации увеличили минеральное разнообразие до 250 видов, найденных в неподверженных выветриванию метеоритах. Вслед за этим образование Земли и формирующих ее геосфер, включая земную кору, а также геологическая эволюция, связанная с процессами вулканизма, дегазации, региональным и контактовым метаморфизмом увеличили, по некоторым оценкам, число минералов до 1500. Зарождение жизни 3,85—3,6 миллиарда лет назад, а также происходившие изменения в составе атмосферы и океанов начали воздействовать на находящиеся на поверхности минералы. С этим связаны некоторые широко-масштабные месторождения железа. Позднепротерозойское «Великое кислородное событие» (2,2—2,0 миллиарда лет назад), сопровождавшееся увеличением содержания кислорода более чем на 1% от его современного присутствия в атмосфере, и прямое или косвенное влияние биохимических процессов способствовало дальнейшему росту числа минералов.

Таким образом, число хорошо изученных, признанных Международной минералогической ассоциацией (ММА) полноправных минеральных видов в январе 2017 года составило 5224.

— Это много или мало?

— Смотри с чем сравнивать. Например, число биологических видов на 2011 год превышало 1,7 миллиона, а количество синтетических химических соединений, среди которых большинство органических, в том же 2011 году перерывало за 10 миллионов. В сравне-

нии с этими цифрами разнообразие минеральных видов выглядит весьма скромно, и темпы его расширения не так уж велики, хотя и они несколько ускорились в последнее время. Так, до 2007 года в течение более чем двадцати лет Комиссия по новым минералам, номенклатуре и классификации ММА ежегодно утверждала 50—60 новых минералов. Затем произошел скачок, что связано в первую очередь с развитием физических методов исследования вещества, и особенно — методов анализа кристаллической структуры на очень мелких (иногда менее 20—30 микрон) монокристаллах. Сегодня разнообразие минералов расширяется со скоростью, близкой к сотне в год, и есть основания полагать, что этот темп продержится неизменным достаточно долго. Для сравнения: прирост числа синтезируемых человеком химических соединений оценивается цифрой в несколько сотен новых веществ *в день*...

Открытие каждого минерала и сегодня является значимым событием в науке, обогащающим новым знанием не только минералогию и геологию, но и физику твердого тела, химию, кристаллографию. Интересно, что более половины из известных сегодня минеральных видов не имеет синтетических аналогов: природа хранит тайны своих «лабораторий».

Изучение новых минералов, многие из которых обладают необычным, удивительным химическим составом и кристаллической структурой, очень важно для понимания законов строения вещества и обстановки, в которой оно образовалось (включая температуру, давление и состав минералообразующей среды). Обнаружение ранее неизвестного природного кристаллического тела, пусть иногда и микроскопического, может многое сказать специалисту, изучающему геологические процессы в глубине Земли, на ее поверхности и во внеземных объектах.

— Какое практическое применение находят минералы в современной науке?

— Некоторые новые минералы быстро находят практическое применение, причем всё большее внимание уделяется минералу не как руде, не как прямо-

му источнику того или иного полезного компонента, а как кристаллу — носителю технологически важных свойств, способствуя быстрому развитию минералогического материаловедения.

Детальное изучение ранее неизвестных минералов, их кристаллохимии и условий их образования, — одна из главных задач исследований, проводимых на геологическом факультете МГУ. Работая в разных регионах и странах, наши сотрудники ежегодно открывают около 20—25 новых минералов. В этом качестве все они утверждаются Комиссией по новым минералам Международной минералогической ассоциации. Перед этим, как обычно, направленные заявки с описанием новых минералов рассматриваются 25 членами Комиссии — представителями разных стран, которые голосуют не только за каждый минеральный вид, но и за предлагаемое название. Образование большинства из них является результатом как современных процессов, так и происходивших недавно (конечно, по геологическим меркам: в последние десятки тысяч лет) на территориях, во-первых, с активной вулканической деятельностью и, во-вторых, в зонах окисления месторождений меди, золота, железа и других металлов.

Особое внимание в настоящее время уделяется очень необычным минеральным ассоциациям, возникающим в горячих, с температурами от 70 до 700 °С, активных фумаролах, порожденных действующим вулканом Толбачик на Камчатке. Это самая настоящая «природная лаборатория», где из вулканического газа, несущего на поверхность хлор, серу, медь, цинк, мышьяк, селен и целый ряд других химических элементов, кристаллизуются разнообразные минералы. Уникальность и научное значение этого объекта заключаются не только в его необычной геохимии, но и в том, что процессы минералогенеза здесь можно наблюдать «вживую», получая уникальную, нигде более не доступную информацию о вулканогенном рудообразовании. В течение последних двух лет именно здесь нами открыто 13 новых минералов.

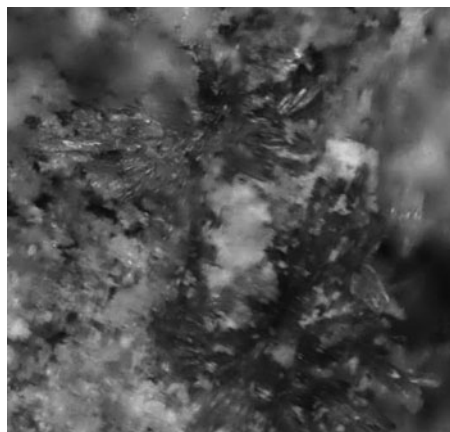
— Слышала, геологи даже проводят своеобразный конкурс — «Минерал года». Названный в честь вас пушаровский не стал победителем?

— Это невозможно. Ведь мой минерал был открыт еще 20 лет назад. Действительно, начиная с 2014 года, международное минералогическое сообщество ежегодно проводит конкурс на звание «Минерал года»: из всей совокупности новых минералов, данные о которых опубликованы за истекший год, голосованием выбирается один «победитель». Критериями отбора выступают значимость его открытия для фундаментальной науки, для его возможного практического применения, общественный интерес к его открытию, а также научный уровень публикации об этом минерале.

Было приятно узнать, что по результатам второго ежегодного конкурса из более чем сотни претендентов «Минералом года — 2015» выбран чанабаяит — $\text{CuCl}(\text{N}_3\text{C}_2\text{H}_2)(\text{NH}_3) \cdot 0.25\text{H}_2\text{O}$ — первое найденное в природе кристаллическое соединение, содержащее триазолятный комплекс ($\text{N}_3\text{C}_2\text{H}_2$). Этот минерал найден в зоне окисления медных руд на их контакте с залежью гуано на месторождении Пабельон де Пика в пустыне Атакама в Северном Чили.

— Дмитрий Юрьевич, резонансные результаты ваших работ привлекают внимание не только коллег-геологов, но и ученых других специальностей. Недаром вклад вас и ваших сотрудников в раз-

Чанабаяит, «Минерал года — 2015»



витие представлений о кристаллохимии новых минералов отмечен присуждением им в 2015 году премии РАН имени Е. С. Федорова — высшей российской награды в области кристаллографии.

— А открытие в 2017 году 25 новых минералов было отражено на общем собрании РАН в марте 2018 года в докладе Президента РАН А. М. Сергеева, посвященном важнейшим итогам исследований российских ученых. Нам, конечно, приятно, что нашу работу замечают, что она приносит пользу.

Таким образом, несмотря на многовековую историю, минералогия остается живой и очень востребованной наукой. Несомненно, впереди у минералогов — новые достижения, связанные с исследованием минерального состава не только земной коры, но и глубинных оболочек Земли. Работы по открытию минералов и их систематике способствуют генерации новых идей, расширяющих научные представления о составе, строении и эволюции нашей планеты. И в этом смысле мы очень рассчитываем на нашу молодежь — талантливых студентов, аспирантов, наших молодых ученых. Недаром наш девиз можно передать словами Р. Киплинга «Образование должно быть высшего сорта, иначе оно ни на что не годно».

— Вы упомянули про глубинные оболочки нашей планеты. Как их изучают и меняются ли представления о строении Земли?

— Прежде всего, об этом судят на основе изменений в скоростях сейсмических волн, фиксируемых на разных глубинах. Уже в середине двадцатого века в первую очередь работами австралийского сейсмолога К. Е. Буллена эти данные были окончательно обобщены. Модель, состоящая из земной коры, из верхней и нижней мантии, зоны, разделяющей мантию от ядра, и наконец, внешнего и внутреннего ядра, была, в общем, скомпонована. И казалось, всё в порядке. Но ведь надо понимать, что толщина, или мощность нижней мантии, согласно этой модели, составляет 2200 километров. Трудно представить себе, что такая огромная оболочка Земли не меняется

на всем протяжении. И, начиная с семидесятых годов прошлого века, японские, а затем и американские исследователи начали применять метод сейсмотомографии, который пролил свет на этот вопрос. Снаряжались большие экспедиции в океаны, которые занимают огромную площадь — более 70% поверхности Земли.

Было установлено, что в сечениях нашей планеты на определенных уровнях скорости сейсмических волн меняются, причем не только по вертикали, но и по горизонтали. Почему? Потому что оказывается: температура и вязкость пород, если идти вглубь Земли, не одинакова. При этом на одной глубине температура пород может изменяться от 500 °C в верхней мантии до 2000 °C в нижней. Это обстоятельство позволяет выделить определенные блоки с близкими контурами распространения сейсмических волн по горизонтали внутри нижней мантии, которая ранее считалась однородной.

Здесь, надо сказать, приоритет принадлежит нашим исследователям. Эту группу в свое время возглавил мой отец, выпускник нашего факультета, а теперь академик Юрий Михайлович Пушаровский. В декабре 2016 года ему исполнилось сто лет. Он жив и продолжает интересоваться вопросами науки.

— Это потрясающе! У вас в роду все долгожители?

— По линии отца — да. Так что и у меня есть шанс. Так вот, начиная с 1995 года, он опубликовал целый ряд работ, основная задача которых заключалась в том, чтобы предложить более детальную схему строения мантии. К этой работе он привлек геофизиков, тектонистов и меня как минеролога. Отец сфокусировал мое внимание на изучении структурных трансформаций минералов при высоких давлениях и температурах. Анализ данных о возможных глубинных минеральных преобразованиях, а также сведений о внутримантийных сейсмических границах в мантии Земли позволил высказать новую идею о строении нашей планеты.

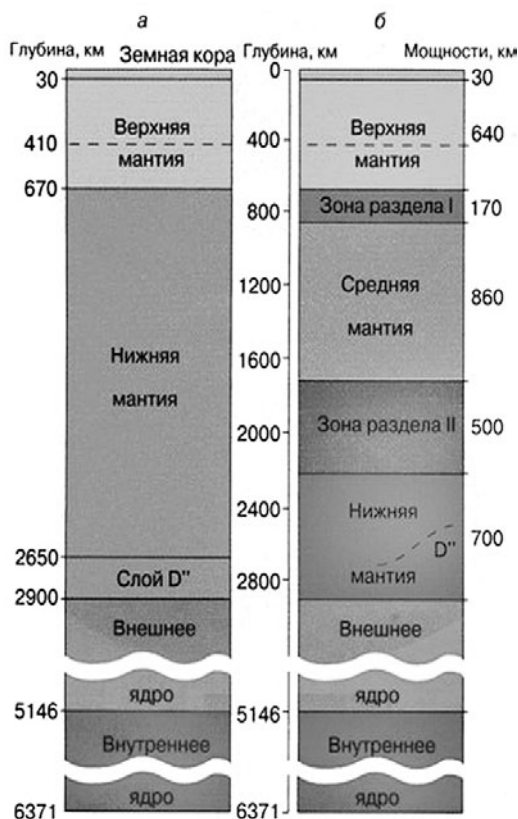
Таким образом, внутри ранее однородной нижней мантии в интервале глубин 850—1700 километров бы-

ла выделена средняя мантия, отделенная от нижней и верхней зонами перехода. Эта работа была признана, мы опубликовали значительное число статей, как в российских журналах, так и в зарубежных, а в конце 2011 года — обобщающую монографию «Геология мантии Земли». С тех пор в той или иной форме эти идеи находят подтверждение. А некоторые последние исследования ученых в мире также направлены на более дробное разделение не только мантии, но и ядра Земли.

Своим вопросом вы затронули не только нашу семейную тему, но и целое направление научных исследований, развиваемое в настоящее время на нашем факультете, которое связано с изучением минералогически вероятных фаз в глубинных геосферах. В них участвуют не только наши сотрудники, но также студенты и аспиранты, которые работают в контакте с учеными России, Японии, Италии и других стран.

— Слышала, вы в числе первых перешли на двухуровневую подготовку — бакалавр + магистр. Это принесло результаты?

— Да, теперь у нас значительно больший набор в магистратуру — 170 человек. Начиная с создания факультета в 1938 году, мы подготовили более 15 тысяч геологов, среди которых 1400 докторов и 5500 кандидатов наук. В нынешнем составе РАН — около 30% членов Отделения наук о Земле — наши выпускники, а многие успешно работают в таких компаниях, как «Роснефть», «Газпром», «Алроса» и многих других. Мы гордимся 9 нашими сотрудниками, которые стали первооткрывателями важнейших месторождений минерального сырья. Среди них — крупное медно-порфировое месторождение Песчанка на Чукотке. Мы давно поняли, что геолога нельзя подготовить только в университетских стенах, поэтому важнейший этап образования на факультете связан с учебными и производственными практиками. В этом смысле нам очень близко высказывание римского философа Луция Аннея



Традиционная модель строения Земли (а) и новая модель строения Земли с выделением средней мантии (б)

Сенеки «Долог путь наставлений, краток и убедителен путь примеров».

— А где работают ваши выпускники?

— Конечно, после окончания у каждого свой путь, но мы всегда интересуемся дальнейшими планами наших студентов накануне защиты магистерских диссертаций. Статистика последних лет показывает, что около 90% наших выпускников связывают свои ближайшие планы с работой по специальности, и мы рады, что им это удастся.

В прошлом году на торжественном собрании 1 сентября ректор МГУ, академик В. А. Садовничий рассказал будущим студентам о моральных принципах древнегреческой Пифагорейской школы (VI—IV века до новой эры), в основе которых были: дружба, справедливость, честь. Наш двухтысячный коллектив неизменно им следует.

Беседу вела **Наталья Лескова**