

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
Геологический факультет

УТВЕРЖДАЮ  
и.о. декана Геологического факультета  
чл.-корр. РАН \_\_\_\_\_/Н.Н.Ерёмин/  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Динамическая вулканология**

Автор-составитель: Плечов П.Ю.

**Уровень высшего образования:**

***Бакалавриат***

**Направление подготовки:**

**05.03.01 Геология**

**Направленность (профиль) ОПОП:**

**Геохимия**

Форма обучения:

***Очная***

Рабочая программа рассмотрена и одобрена  
Учебно-методическим Советом Геологического факультета  
(протокол № \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_)

Москва

---

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки «Геология», (программы бакалавриата, реализуемых последовательно по схеме интегрированной подготовки).

Год (годы) приема на обучение: 2022

© Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова  
*Программа не может быть использована другими подразделениями университета и другими вузами без разрешения факультета.*

## Цель и задачи дисциплины

**Целью** курса "Динамическая вулканология» является знакомство слушателей с наукой «вулканологией» и её аспектами. Вулканические извержения – крупномасштабные природные катастрофы, не раз угрожавшие существованию цивилизации. Их изучение требует совместных усилий ученых разных специальностей.

**Задачи** - изучение процессов вулканизма, закономерностей распределения вулканов по поверхности Земли, причин вулканизма и эволюция вулканизма в истории Земли.

### Краткое содержание дисциплины (аннотация):

Курс «Динамическая вулканология» проводится в весеннем семестре для студентов 4-го курса. Этот курс включает в себя 11 лекций и знакомит слушателей с вулканическими извержениями – крупномасштабными природными катастрофами, не раз угрожавшими существованию цивилизации. Их изучение требует совместных усилий ученых разных специальностей. В курсе рассмотрены вопросы строения Земли и закономерности распределения вулканов по её поверхности, причины вулканизма и эволюция вулканизма в истории Земли, примеры самых значительных извержений, простейшие гидродинамические модели вулканических извержений. В качестве примеров рассмотрены извержения вулканов Везувий (Италия), Шивелуч (Камчатка), Маунт Сент Хеленс (США), Суффриере-Хиллз (острова Карибского моря). Проверочные работы и задания, предусмотренные программой, направлены на закрепление пройденного материала.

**1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО** – вариативная часть, профессиональный цикл, профессиональные дисциплины по выбору, курс – IV, семестр – 8.

### 2. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

освоение дисциплин «Общая геология», «Химия общая», «Неорганическая химия», «Минералогия» «Высшая математика», «Физика», «Петрология», «Физическая геохимия», «Локальные методы исследования вещества», «Основы математического моделирования в петрологии», «Экспериментальная и техническая петрология», «Эффузивные породы», «Флюидные и расплавные включения».

Дисциплина необходима в качестве предшествующей дисциплин магистерской программы «Петрология и вулканология», а также для научно-исследовательской работы и выполнения выпускных квалификационных работ.

### 3. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников

Компетенции выпускников (коды)	Индикаторы (показатели) достижения компетенций	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), сопряженные с компетенциями
<b>ОПК-2.Б</b> Способен применять теоретические основы фундаментальных геологических дисциплин при решении задач профессиональной деятельности (формируется частично).	<b>Б.ОПК-2. И-1.</b> Использует теоретические знания о закономерностях и особенностях геологических процессов для решения профессиональных задач.	<b>Знать:</b> подходы к классификации вулканических извержений, основные методы прогноза извержений. <b>Уметь:</b> ставить задачу исследования вулканов и извержений; <b>Владеть:</b> основными методами вулканологии.

<b>ОПК-3.Б</b> Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности в соответствии с профилем подготовки (формируется частично)	<b>Б.ОПК-3. И-1.</b> Использует типовые подходы и методы при решении задач профессиональной деятельности.	<i><b>Знать</b></i> современные методы изучения вулcano-магматических систем, современные представления о процессах, приводящих к извержениям, возможные последствия различных типов извержений.
	<b>Б.ОПК-3. И-2.</b> Владеет базовыми навыками получения информации (полевой, камеральной, лабораторной) для решения стандартных задач профессиональной деятельности в соответствии с профилем подготовки.	<i><b>Уметь:</b></i> выбирать оптимальную методику для решения задачи, производить отбор образцов и препаратоподготовку, классифицировать и описывать вулканические породы.
	<b>Б.ОПК-3. И-3.</b> Владеет базовыми навыками обработки и интерпретации информации при решении стандартных задач профессиональной деятельности в соответствии с профилем подготовки.	<i><b>Владеть:</b></i> представлением о сущности методов моделирования катастрофических событий и их последствий.

**4. Формат обучения** – лекционные занятия, не предполагает электронного обучения и использования дистанционных образовательных технологий (за исключением форс-мажорных обстоятельств – пандемии и т.п.)

**5. Объем дисциплины (модуля):** 1 зачетная единица, 36 академических часов, в том числе 22 академических часа, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (занятия лекционного типа) и 14 академических часов на самостоятельную работу обучающихся. Форма промежуточной аттестации – зачет

**6. Содержание дисциплины (модуля),** структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),  Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе				Самостоятельная работа обучающегося, часы (виды самостоятельной работы – эссе, реферат, контрольная работа и пр. – указываются при необходимости)
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, часы				
		Занятия лекционного типа	Занятия практического типа	Занятия семинарского типа	Всего	
Тема 1. Введение в вулканологию		2		–	2	2
Тема 2. Вулканизм и геодинамика		2			2	
Тема 3. Продукты извержений и вулканические постройки		4			4	2
Тема 4. Прогноз извержений		2			2	2
Тема 5. Введение в гидромеханику		2			2	
Тема 6. Реконструкция физ-хим условий магм.		4			4	2
Тема 7. Летучие в магме		2			2	
Тема 8. Лавовые купола		2			2	2
Тема 9. Распространение продуктов вулканических извержений в атмосфере.		2			2	2
Промежуточная аттестация <i>зачет</i>						
<b>Итого</b>	<b>36</b>			<b>22</b>		<b>14</b>

## **Содержание разделов дисциплины:**

Тема 1. Введение в вулканологию. Введение в вулканологию. Объекты, методы и история развития вулканологии. Глубинное строение Земли (кора, мантия, ядро, литосфера и астеносфера, континентальные и океанические плиты). Источники тепла, возможность мантийной конвекции.

Объектами вулканологии являются вулкано-магматические системы, вулканические извержения и последствия извержений. Для их изучения используются серии методов, основанных на геологических, химических, физических и механических исследованиях. История вулканологии насчитывает много тысячелетий. Первые работы были основаны на наблюдении и описании извержений. Постепенное накопление этих наблюдений привело к тому, что сейчас вулканологи обладают большим количеством знаний не только о современных извержениях, но и о произошедших в древности

Для изучения вулканов необходимо хорошо представлять глубинное строение Земли и процессы геодинамики. Наша планета состоит из ядра, твёрдой мантии и земной коры. Основным слоем, где «зарождаются вулканы» является мантия. Не смотря на твёрдость мантии её вещество способно к движению – т.е. к мантийной конвекции. Благодаря этому явлению происходит движение литосферных плит, слагающих земную кору.

Земля, как и любое тело во вселенной обладает энергией. Её источниками являются распад радиоактивных элементов, взаимодействие с Солнцем и Луной и др. Земля получает тепло, но и теряет его. Одним из способов передачи энергии Землей – тепловой перенос в результате мантийной конвекции. Мантийная конвекция приводит в движение литосферные плиты, которые могут образовывать единые суперконтиненты. На границах литосферных плит происходят землетрясения и извержения вулканов. Однако, извержения вулканов могут происходить на разных участках литосферной плиты, что отражается на типе извержения, составе продуктов. Землетрясения и извержения вулканов – результат перемещения вещества внутри Земли, но их связь друг с другом так и не установлена.

Тема 2. Основные понятия и термины в вулканологии. Вулканические извержения. Типы вулканов и морфология вулканических образований (кальдеры, маары, стратовулканы, моногенные и полигенные конуса, трещинные и щитовые вулканы). Геодинамические обстановки (океан: срединно-океанические хребты, океанические плато, океанические острова; континенты: рифтовые зоны, большие магматические провинции; переход океан-континент: островные дуги, задуговые бассейны, активные континентальные окраины). Распределение зон вулканизма по геодинамическим обстановкам. Основные механизмы магмогенерации. Типы извержений (исландский, гавайский, пиллоу-лавы, стромболианский, вулканианский, плиннианский, суперплиннианский, рост куполов, пелейский, фреатический). Эффузивная и эксплозивная деятельность, лавы и тефры, коэффициент эксплозивности. Сила извержений (объем, энергия, продолжительность, последствия, жертвы).

Вулканические постройки имеют разные формы в зависимости от типа извержения и изверженных продуктов. Наибольший интерес представляют вулканы, которые могут извергаться в ближайшее время. При этом такие вулканы могут быть активными в настоящее время или быть спящими несколько сотен лет. Извержение вулкана можно оценить количественными характеристиками, определив объём извержения, длительность, состав лав, количество жертв и другие.

На извержение сильно влияют параметры магмы, которая потом изливается на поверхность и превращается в лаву. Ещё одним важным фактором является геодинамическая обстановка – геологическая структура в определенном участке плиты. В зависимости от геодинамической обстановки реализуются разные механизмы плавления твердой мантии. Тип извержения вулкана зависит от вязкости лавы. Жидкая лава может вытекать на поверхности континентов или на дне океанов. Увеличение вязкости может приводить к образованию взрывных извержений с мощными выбросами пепла.

Тема 3 Продукты извержений. Лавовые купола, лавовые потоки, пирокластические потоки, отложения тефр, лахары, газообразные продукты извержения. Деление тефры по

размерности (пеплы, лапилли, вулканические бомбы), агглютинаты и вулканические брекчии. Типы лав (аа-лавы, канатные лавы, пахое-хое, подушечные, глыбовые лавы).

При вулканизме происходит извержение жидких, твёрдых и газообразных продуктов. К жидким продуктам относятся лавы. В зависимости от вязкости материала лавы могут образовывать различные структуры при застывании – пахое-хое лавы, пиллоу-лавы и другие. Твёрдый пирокластический материал классифицируется по размерности и по пористости.

Основную угрозу составляют частицы диаметром меньше 2 мм. Они распределяются на большую площадь и наносят серьёзный ущерб экологии. Частицы большего размера обычно располагаются ближе к кратеру вулкана.

Газообразные продукты извержения тоже очень разнообразны. При извержении они выбрасываются в атмосферу и существенно влияют на её состав. Для каждого типа вулканической постройки можно выделить характерные для него типы продуктов извержений.

Тема 4. Методы мониторинга и прогноза извержений. Климатические и биологические последствия, массовые вымирания в истории Земли.

В мире ежегодно происходят десятки извержения вулканов. Учёные осуществляют постоянный мониторинг за активными вулканами и следят за событиями, которые происходят за 2-3 недели до извержения.

Постоянный мониторинг осуществляется сейсмическими, GPS- станциями. На основе их данных было предсказано уже не одно извержение. Для более точного предсказания необходимо использовать комплекс методов.

Спутниковые данные позволяют наблюдать не только события, происходящие до извержения, но и следить за распределением пепла в атмосфере. Извержения вулканов оказывают существенное влияние на атмосферу, что приводит к глобальным климатическим изменениям.

Тема 5. Введение в гидромеханику и моделирование. Основные уравнения механики сплошной среды (уравнения неразрывности и сохранения импульса). Реология магмы. Подъем магмы в каналах и дайках. Течение Пуазейля. Сила сопротивления канала вулкана. Простейшая модель извергающегося вулкана..

В процессе вулканического извержения собирается большой наблюдательный и инструментальный объем данных, свойства магмы и магматические процессы изучаются экспериментально. Однако все эти методы дают только косвенную информацию. Для создания целостных моделей вулканоматических процессов необходимо математическое моделирование. Одним из фундаментальных законов природы является закон сохранения массы. Будет осуществлен его вывод и продемонстрированы простейшие решения. Закон сохранения импульса. Течение Пуазейля.

Второй закон Ньютона (закон сохранения импульса) позволяет рассчитать полет вулканической бомбы и течение магмы в канале вулкана. Вязкость магмы и геометрия канала вулкана определяют интенсивность извержения. Простейшая модель вулканического извержения.

В ходе лекций будет построена простейшая модель вулканического извержения, которая позволит оценить размеры вулканического очага на вулкане Фернандина (Галапагосы) по данным измерения объема извергнутой на поверхности лавы.

Тема 6. Методы реконструкции физико-химических условий существования магм. Петрологическое моделирование. Использование элементов-примесей для выявления процессов, происходящих в магматических системах.

Для понимания процессов вулканизма очень важно определение не только реологических параметров извержения, но и условия образования магм, лав и других продуктов. Данные условия можно определить, опираясь на состав изверженного материала и термодинамике системы. Другим методом является изучение включений в кристаллах, захваченных в процессе роста.

Важным методом является геохимическое и петрологическое моделирование. Для решения петрологических задач разработано несколько программ – Petrolog-3, Komagmat, MELTs и др. Геохимическое моделирование основано на поведении различных элементов в расплаве. Некоторые элементы могут заменять друг друга в структуре минерала (например Fe и Mg). Такое замещение элементов часто зависит от параметров – давление, степень фракционирования, наличие собственной фазы. На распределение элементов также влияет геодинамическая обстановка, в которой формируются магмы.

Тема 7. Летучие в магме. Моделирование течения многофазных сред. Ламинарные и турбулентные течения, число Рейнольдса. Сила сопротивления канала вулкана. Гипотеза взаимопроникающих континуумов. Система уравнений, описывающая многофазное, многоскоростное течение. Модели взаимодействия между фазами, обтекание твердой частицы. Летучие в магме. Растворимость, всплытие пузырей. Фильтрация газа. Закон Дарси. Дегазация магм. Модели эксплозивных извержений.

Летучие компоненты в магме, прежде всего пары воды, играют ключевую роль в динамике вулканического извержения. Растворенные на большой глубине они формируют пузырьки газа при подъеме магмы. При некоторых условиях может произойти фрагментация магмы с образованием газо-пепловой струи.

За счет фильтрации летучих медленно поднимающаяся магма не достигает условий фрагментации, происходит рост лавовых куполов. При быстром подъеме – взрывное извержение. Переход между режимами определяется условиями фрагментации. Магма движется в канале вулкана в ламинарном режиме, газо-пепловая струя – в турбулентном.

Модели эксплозивных извержений. Построенные модели позволяют оценить расход магмы в процессе взрывного извержения и, тем самым, оценить опасность конкретного вулкана. Становится понятным почему для одного и того же вулкана возможны разные режимы извержения.

Тема 8. Модели экструзивных извержений. Циклические режимы роста лавовых куполов. Кинетика кристаллизации магмы, вызванная дегазацией. Распределение кристаллов по размерам. Моделирование кристаллизации. Простейшая модель подъема магмы с кристаллизацией. Стационарное решение. Неустойчивость. Выход на стационар и циклический процесс. Экспериментальное моделирование циклических режимов. Короткопериодические циклы. Учет нелинейной реологии магмы и кинетики кристаллизации. Интерпретация геофизических и петрологических данных. Оценка параметров вулканических систем на основе данных расчетов.

При экструзивном режиме извержения на поверхности растут лавовые купола. Лава содержит большое количество кристаллов, поэтому она очень вязкая. Из-за большого времени подъема магмы она кристаллизуется в канале вулкана при падении давления и отделения летучих.

Простейшая модель позволила объяснить причину циклических колебаний расхода магмы. Она связана с влиянием кристаллизации. Если магма поднимается быстро, кристаллы не успевают вырасти и вязкость магмы относительно невелика. При медленном подъеме магма сильно закристаллизована и имеет большую вязкость. Вулкан может переходить от режима медленного к режиму быстрого роста.



Математическое моделирование позволяет объяснить различные геофизические сигналы, регистрируемые в процессе извержения. По распределению кристаллов по размерам можно определить диаметр канала вулкана. Эту величину невозможно измерить для активных вулканов.

Тема 9. Распространение продуктов вулканических извержений в атмосфере. Модель газопепловой струи в атмосфере. Конвективные и коллапсирующие струи. Пирокластические потоки. Упрощенные квази-одномерные модели. Моделирование реальных извержений. Вулканический пепел. Суперизвержения.

При эксплозивном вулканическом извержении из жерла вулкана вырывается струя газозвеси. В зависимости от параметров этой струи распространение продуктов извержения происходит либо по воздуху (конвективная колонна), либо вдоль склона вулкана (коллапсирующая колонна) в виде пирокластических потоков.

В лекции будут рассмотрены факторы, влияющие на динамику вулканической колонны, объяснено при каких условиях возникают пирокластические потоки.

От крупных извержений вулканический пепел распространяется на тысячи километров. Он может приводить к обрушению кровли, проблемам с дыханием, выходу из строя авиационных двигателей. В мире разработана система мониторинга извержений. Суперизвержения приводят к выбросу гигантского количества магмы на поверхность Земли, что приводит к глобальным климатическим изменениям.

### **Рекомендуемые образовательные технологии.**

Технология полного усвоения (построение учебного процесса направлено на то, чтобы подвести всех учащихся к единому, чётко заданному уровню овладения знаниями и умениями. Содержание курса разбивается на небольшие блоки, с обязательным промежуточным контролем).

### **7. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)**

#### **7.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.**

Текущий контроль усвоения дисциплины осуществляется при сдаче каждым студентом выполненных расчетных/лабораторных/практических работ.

Для текущего контроля студентов в ходе семестра проводятся контрольные опросы/работы.

#### **Домашние задания для самостоятельной подготовки студентов:**

- изучение типов вулканов и морфологии вулканических образований;
- изучение распределения зон вулканизма по геодинамическим обстановкам;
- изучение методов мониторинга и прогноза извержений.

#### **Рекомендуемые темы докладов, рефератов:**

1. Газообразные продукты извержений.
2. Климатические и биологические последствия извержений вулканов, массовые вымирания в истории Земли.
3. Растворимость летучих компонентов в расплавах.
4. Основные уравнения механики сплошной среды (уравнения неразрывности и сохранения импульса).
5. Моделирование течения многофазных сред.

#### **7.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.**

***Примерный перечень вопросов при промежуточной аттестации:***

1. Объекты, методы и история развития вулканологии.
2. Глубинное строение Земли (кора, мантия, ядро, литосфера и астеносфера, континентальные и океанические плиты).
3. Источники тепла, возможность мантийной конвекции.
4. Основные понятия и термины в вулканологии.
5. Вулканические извержения.
6. Типы вулканов и морфология вулканических образований (кальдеры, маары, стратовулканы, моногенные и полигенные конуса, трещинные и щитовые вулканы).
7. Геодинамические обстановки (океан: срединно-океанические хребты, океанические плато, океанические острова; континенты: рифтовые зоны, большие магматические провинции; переход океан-континент: островные дуги, задуговые бассейны, активные континентальные окраины).
8. Распределение зон вулканизма по геодинамическим обстановкам.
9. Основные механизмы магмогенерации.
10. Типы извержений (исландский, гавайский, пиллоу-лавы, стромболианский, вулканианский, плинианский, суперплинианский, рост куполов, пелейский, фреатический).
11. Эффузивная и эксплозивная деятельность, лавы и тефры, коэффициент эксплозивности.
12. Сила извержений (объем, энергия, продолжительность, последствия, жертвы).
13. Продукты извержений. Лавовые купола, лавовые потоки, пирокластические потоки, отложения тефр, лахары, газообразные продукты извержения.
14. Деление тефры по размерности (пеплы, лапилли, вулканические бомбы), агглютинаты и вулканические брекчии.
15. Типы лав (аа-лавы, канатные лавы, пахое-хое, подушечные, глыбовые лавы).
16. Методы мониторинга и прогноза извержений.
17. Климатические и биологические последствия, массовые вымирания в истории Земли.
18. Введение в гидромеханику и моделирование.
19. Основные уравнения механики сплошной среды (уравнения неразрывности и сохранения импульса).
20. Реология магмы. Подъем магмы в каналах и дайках.
21. Течение Пуазейля. Сила сопротивления канала вулкана.
22. Простейшая модель извергающегося вулкана.
23. Методы реконструкции физико-химических условий существования магм. Петрологическое моделирование.
24. Использование элементов-примесей для выявления процессов, происходящих в магматических системах.
25. Летучие в магме. Моделирование течения многофазных сред.
26. Ламинарные и турбулентные течения, число Рейнольдса.
27. Сила сопротивления канала вулкана. Гипотеза взаимопроникающих континуумов.
28. Система уравнений, описывающая многофазное, многоскоростное течение.
29. Модели взаимодействия между фазами, обтекание твердой частицы.
30. Летучие в магме. Растворимость, всплытие пузырей. Фильтрация газа. Закон Дарси.
31. Дегазация магм. Модели эксплозивных извержений.
32. Модели экструзивных извержений. Циклические режимы роста лавовых куполов.
33. Кинетика кристаллизации магмы, вызванная дегазацией. Распределение кристаллов по размерам.
34. Моделирование кристаллизации. Простейшая модель подъема магмы с кристаллизацией.
35. Стационарное решение. Неустойчивость. Выход на стационар и циклический процесс.

36. Экспериментальное моделирование циклических режимов. Короткопериодические циклы. Учет нелинейной реологии магмы и кинетики кристаллизации.
37. Интерпретация геофизических и петрологических данных. Оценка параметров вулканических систем на основе данных расчетов.
38. Распространение продуктов вулканических извержений в атмосфере. Модель газопепловой струи в атмосфере.
39. Конвективные и коллапсирующие струи. Пирокластические потоки. Упрощенные квази-одномерные модели.
40. Моделирование реальных извержений.

### Шкала и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине.

Оценка результатов обучения, <i>соответствующие виды оценочных средств</i>	Незачет	Зачет
<b>Знания</b> основных понятий, подходов и методов вулканологии	Знания отсутствуют или весьма фрагментарны	Знания систематические, но возможна их недостаточная структурированность или наличие небольших пробелов
<b>Умения</b> ставить задачу исследования вулканов и извержений, выбирать оптимальную методику для решения задачи, производить отбор образцов и препаратоподготовку, классифицировать и описывать вулканические породы	Отсутствие умений или весьма несистематическое умение	В целом успешное умение производить отбор образцов и препаратоподготовку, классифицировать и описывать вулканические породы, но с возможными отдельными пробелами непринципиального характера
<b>Владение</b> основными методами прогноза извержений, современными методами изучения вулкано-магматических систем и представлениями о процессах, приводящих к извержениям.	Отсутствие навыков изучения вулкано-магматических систем или наличие только отдельных навыков	Сформированные навыки владения основными методами прогноза извержений, современными методами изучения вулкано-магматических систем и представлениями о процессах, приводящих к извержениям., но возможно их использование не в активной форме

### 8. Ресурсное обеспечение:

#### А) Перечень основной и дополнительной литературы.

##### - основная литература:

Бармин А.А., Гордеев Е.И., Мельник О.Э. (2012) Вулканомеханика // Природа. № 12. С. 34-41

##### дополнительная литература:

1. Перчук А. Л., Сафонов О. Г., Плечов П. Ю. Введение в петрологию. — ИНФРА-М Москва, 2014. — С. 130.

2. Gill R. Igneous rocks and processes: a practical guide. – John Wiley & Sons, 2010.
3. Oppenheimer C., Pyle D. M., Barclay J. (ed.). Volcanic degassing. – Geological Society of London, 2003.
4. Sigurdsson H. et al. (ed.). The encyclopedia of volcanoes. – Elsevier, 2015.
5. Дэвид Ротери: Вулканы Гранд-Фаир, 2004 г. – С. 384.
6. Мельник О.Э., Бармин А.А., Спаркс С. Беспокойная жизнь лавовых куполов // Природа. 2006. №3. С.46—55.
7. Gonnermann, H. M., & Manga, M. (2007). The fluid mechanics inside a volcano. Annu. Rev. Fluid Mech., 39, 321-356.

**Б) Перечень программного обеспечения:** пакеты программ Statistica; Microsoft Office Excel, Microsoft Office PowerPoint (при необходимости)

**В) Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем:**

**Г) Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:**

Геологическая энциклопедия GeoWiki - <http://wiki.web.ru>.

**Д) Материально-техническое обеспечение:**

а) помещение – аудитория, рассчитанная на группу из 10 учащихся;

б) оборудование – персональные компьютеры;

**9. Язык преподавания** – русский.

**10. Преподаватель (преподаватели)** – проф. Плечов П.Ю.

**11. Разработчик программы** – проф. Плечов П.Ю.