

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Н. Н. Цветкова

ГЕОЛОГИЯ

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины для студентов,
обучающихся в бакалавриате по направлению подготовки
05.03.06 Экология и природопользование

Калининград
2022

Рецензент

кандидат биологических наук, доцент кафедры водных биоресурсов
и аквакультуры ФБОУ ВО «КГТУ» Е. А. Масюткина

Цветкова, Н. Н. Геология: учеб.-методич. пособие по изучению дисциплины для студ. бакалавриата по напр. подгот. 05.03.06 Экология и природопользование / **Н. Н. Цветкова.** – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2022. – 91 с.

В учебно-методическом пособии по изучению дисциплины «Геология» представлены учебно-методические рекомендации по освоению тем лекционного курса, включающие подробный план лекций по каждой изучаемой теме.

Табл. 1, список лит. – 21 наименование

Локальный электронный методический материал. Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины. Рекомендовано к использованию в учебном процессе методической комиссией института рыболовства и аквакультуры ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» «25» октября 2022 г., протокол № 7

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
Методические рекомендации к занятиям	10
Тематический план занятий.....	13
Тема 1. Введение.....	13
Тема 2. Земля в космическом пространстве	13
Тема 3. Основные данные о Земле и земной коре	13
Тема 4. Вещественный состав земной коры.....	13
Тема 5. Возраст земной коры.....	13
Тема 6. Главные геологические события в истории Земли	14
Тема 7. Экзогенные процессы. Выветривание	14
Тема 8. Экзогенные процессы. Гравитационные процессы.....	14
Тема 9. Экзогенные процессы Геологическая деятельность ветра.....	14
Тема 10. Экзогенные процессы. Геологическая деятельность поверхностных вод.....	15
Тема 11. Экзогенные процессы. Геологическая деятельность подземных вод	15
Тема 12. Экзогенные процессы. Геологическая деятельность озер и болот.....	15
Тема 13. Экзогенные процессы. Геологические процессы в областях криолитозоны	15
Тема 14. Экзогенные процессы. Геологическая деятельность ледников и водно-ледниковых потоков	15
Тема 15. Экзогенные процессы. Геологическая деятельность Мирового океана	15
Тема 16. Эндогенные процессы. Движения земной коры.....	16
Тема 17. Эндогенные процессы. Магматизм. Вулканизм. Метаморфизм.....	16
Тема 18. Главные структурные элементы земной коры и тектоника литосферных плит	16
Тема 19. Природные ресурсы Земли. Антропогенная геологическая деятельность.....	16
Краткое содержание лекционного курса (составлено по Хаин В.Е., Короновский Н.В., Ясаманов Н.А., 1997; Короновский Н.В., Ясаманов Н.А. 2008, 2011; Короновский Н.В., Я Якушева А.Ф. 1991).....	17
Предмет и задачи геологии.	17
Земля в космическом пространстве. Образование Вселенной	18
Планеты Солнечной системы	21
Относительная и абсолютная геохронология и стратиграфия	23
Формирование Земли и планет земной группы	34
Форма и строение Земли	35
Внутреннее строение Земли.....	37
Строение и типы земной коры.....	41
Основы тектоники. Структурные элементы земной коры.....	44
Геологическое строение территории России	52
Эндогенные геологические процессы.....	53
Процессы внешней динамики (экзогенные).....	55

Заключение.....	88
Список рекомендованных источников.....	89
Основная литература	89
Дополнительная учебная литература	89

ВВЕДЕНИЕ

Учебно-методическое пособие разработано по дисциплине «Геология», входящей в Математический и естественнонаучный модуль обязательной части образовательной программы бакалавриата по направлению подготовки 05.03.06 Экология и природопользование.

Цель освоения студентами дисциплины «Геология» состоит в формировании определенных знаний о геологических особенностях земной коры, необходимых для:

- оценки геологических природных ресурсов с точки зрения охраны окружающей среды;
- раскрытия научно-обоснованного подхода к сбору и использованию геологической информации при решении экологических проблем регионов России и Калининградской области;
- грамотного контроля над состоянием геологической среды при ее эксплуатации.

Задачи дисциплины:

- изучение состава и строения Земли и земной коры;
- изучение геологических процессов;
- изучение развития земной коры во времени;
- изучение этапов геологической истории земной коры;
- изучение эволюции органического мира прошлого;
- изучение стратиграфической шкалы;
- изучение геологической деятельности человека и охраны геологической среды

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать:

- фундаментальные разделы общей геологии специфику состава и строения Земли и земной коры, эволюции органического мира прошлого;

Уметь:

- использовать фундаментальные разделы общей геологии в области экологии и природопользования, организовать сбор необходимой геологической информации и грамотно её использовать для охраны геологической среды.

Владеть:

- современными методами научных геологических изысканий, методиками геолого-химического анализа и полевых геологических наблюдений, необходимых для проведения научных исследований в области экологии и природопользования, а также методами контроля над состоянием окружающей геологической среды.

При изучении дисциплины (на первом курсе, во втором семестре) используются базовые знания и навыки, полученные в процессе освоения образова-

тельной программы бакалавриата дисциплины «География», «Математика», а также на базе изученных в школе дисциплин «География» и «Химия» и др.

Студенты, приступающие к изучению данной дисциплины, для успешного ее освоения должны иметь представления об основных химических, биологических и гидрологических процессах, протекающих в географической оболочке и геосферах Земли, знать особенности влияния различных загрязняющих веществ на компоненты экосистем и окружающую среду в целом. Кроме того, студенты должны иметь представление о структуре земной коры и свойствах различных физических предметов, знать основные способы добычи полезных ископаемых.

Дисциплина «Геология» формирует компетенции, используемые студентами в дальнейшей профессиональной деятельности, а также является базой при изучении таких дисциплин как «Геоэкология», «Экология», «Ландшафтоведение» и др., а также при подготовке выпускной квалификационной работы бакалавра.

Контроль знаний студентов по дисциплине «Геология» осуществляется по двум видам: текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль приучает студентов к систематической работе по изучаемой дисциплине и позволяет определить уровень усвоения студентами теоретического материала.

К оценочным средствам текущего контроля успеваемости относятся:

- тестовые задания по отдельным темам;
- задания и контрольные вопросы для лабораторных занятий.

Тестовые задания используются для оценки освоения всех тем дисциплины студентами очной формы обучения. Тесты сформированы на основе материалов лекций и вопросов, рассмотренных в рамках лабораторных занятий. Тестирование обучающихся проводится на лабораторных занятиях (в течение 10-15 минут, в зависимости от уровня сложности материала) после рассмотрения на лекциях соответствующих тем.

Тестирование проводится с помощью компьютерной программы Indigo. Положительная оценка («отлично», «хорошо» или «удовлетворительно») выставляется программой автоматически, в зависимости от количества правильных ответов.

Градация оценок:

- «отлично» - свыше 85 %
- «хорошо» - более 75%, но не выше 85%
- «удовлетворительно» - свыше 65%, но не более 75%

Выполнение и защита всех лабораторных работ является необходимым условием положительной оценки промежуточной аттестации студента по дис-

циплине. На защите лабораторных работ студенты отвечают на вопросы преподавателя по пройденной теме. При защите лабораторных работ используются следующие критерии. При количестве правильных ответов 90 % и более выставляется оценка отлично, 75–89 % – хорошо, 60–74 % – удовлетворительно. В случае менее 60 % правильных ответов – неудовлетворительно, результат работы или задания не засчитывается и подлежит повторной защите (сдаче, ответу) – Таблица 1.

Промежуточная аттестация – в соответствии с учебным планом – зачет.

Промежуточный контроль носит комплексный характер, т.е. оценивает все освоенные знания, умения и навыки, усвоенные студентом в результате изучения данной дисциплины.

Обязательным условием допуска студента к зачету являются успешное выполнение и защита самостоятельных лабораторных работ, выполнение индивидуальных заданий, успешное прохождение тестовых заданий, а также активное участие в работе на занятиях.

Таблица 1 – Система оценок и критерии выставления оценки

Критерий	Оценка			
	«2»	«3»	«4»	«5»
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	0-59 %	60-74 %	75-89 %	90-100 %
	«не зачтено»	«зачтено»		
1. Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно корректно связывать между собой (только некоторые из которых может связывать между собой)	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полнотой знаний и системным взглядом на изучаемый объект

Критерий	Оценка			
	«2»	«3»	«4»	«5»
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	0-59 %	60-74 %	75-89 %	90-100 %
	«не зачтено»	«зачтено»		
2. Работа с информацией	Не в состоянии находить необходимую информацию, либо в состоянии находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи	Может найти необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, интерпретировать и систематизировать необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, систематизировать необходимую информацию, а также выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи
3. Научное осмысление изучаемого явления, процесса, объекта	Не может делать научно корректных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	В состоянии осуществлять научно корректный анализ предоставленной информации	В состоянии осуществлять систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные задачи данные	В состоянии осуществлять систематический и научно корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной задаче данные, предлагает новые ракурсы поставленной задачи

Критерий	Оценка			
	«2»	«3»	«4»	«5»
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	0-59 %	60-74 %	75-89 %	90-100 %
	«не зачтено»	«зачтено»		
4. Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

Учебно-методическое пособие состоит из:

- введения, где указаны: шифр, наименование направления подготовки (специальности); дисциплина учебного плана, для изучения которой оно предназначено; цель и планируемые результаты освоения дисциплины; место дисциплины в структуре ОПОП ВО; виды текущего контроля, последовательности его проведения, критерии и нормы оценки (отметки); форма проведения промежуточной аттестации; критерии и нормы оценки (текущей и промежуточной аттестации);
- основной части, которая содержит методические рекомендации к занятиям; тематический план лекционных занятий;
- заключения;
- списка рекомендованных источников.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ЗАНЯТИЯМ

Преподавание дисциплины «Геология» предусматривает: лекции; проведение лабораторных работ; устный опрос (собеседование); консультации преподавателей; самостоятельная работа студентов.

Необходимо предусмотреть развитие форм самостоятельной работы, выводя студентов к завершению изучения учебной дисциплины на её высший уровень.

Пакет заданий для самостоятельной работы следует выдавать в начале семестра, определив предельные сроки их выполнения и сдачи. Задания для самостоятельной работы желательно составлять из обязательной и факультативной частей. Организуя самостоятельную работу, необходимо постоянно обучать студентов методам такой работы.

Лекции читаются в строгом соответствии с тематическим планом. Особое внимание следует обратить на перечень знаний и умений, которые должны приобрести студенты в результате изучения дисциплины.

Содержание лекции должно отвечать следующим дидактическим требованиям:

- изложение материала от простого к сложному, от известного к неизвестному;
- логичность, четкость и ясность в изложении материала;
- возможность проблемного изложения, дискуссии, диалога с целью активизации деятельности студентов;
- опора смысловой части лекции на подлинные факты, события, явления, статистические данные;
- тесная связь теоретических положений и выводов с практикой и будущей профессиональной деятельностью студентов.

Преподаватель, читающий лекционные курсы в вузе, должен знать существующие в педагогической науке и используемые на практике варианты лекций, их дидактические и воспитывающие возможности, а также их методическое место в структуре процесса обучения.

Лекционный материал должен быть построен таким образом, чтобы студенту стал понятен физический и химический смысл рассматриваемых процессов. Преподаватель должен рекомендовать студентам изучать разделы дисциплины путем прослушивания и конспектирования лекций.

При изложении материала важно помнить следующие моменты:

- почти половина информации на лекции передается через интонацию;
- первый кризис внимания студентов наступает на 15-20-й минутах,
- второй кризис внимания студентов наступает – на 30-35-й минутах.

При проведении аттестации студентов важно всегда помнить, что систематичность, объективность, аргументированность – главные принципы, на ко-

торых основаны контроль и оценка знаний студентов. Проверка, контроль и оценка знаний студента, требуют учета его индивидуального стиля в осуществлении учебной деятельности. Знание критериев оценки знаний обязательно для преподавателя и студента.

Лабораторные работы проводятся в специализированной лаборатории в соответствии с тематическим планом и составленным графиком.

Обработку результатов лабораторных работ и необходимые расчеты студенты могут осуществлять в компьютерном классе.

На первом лабораторном занятии следует предупредить студентов, что все пропущенные занятия должны быть обязательно отработаны и это можно сделать только в зачетную неделю. При этом на отработку всех занятий отводится только один день. Без отработки пропущенных занятий студенты не могут быть допущены к сдаче зачёта по данной дисциплине.

Выполнение и защита всех лабораторных работ является необходимым условием положительной оценки промежуточной аттестации студента по дисциплине.

В рамках самостоятельной работы студенты должны:

- Завершить необходимые вычисления результатов лабораторных работ.
- Самостоятельно проработать заданные разделы дисциплины.

Для самостоятельной проработки теоретического материала даются наиболее легкие вопросы программы, требующие простого запоминания и не нуждающиеся в дополнительных разъяснениях.

Подводя итоги защиты лабораторных работ, можно использовать следующие критерии (показатели) оценки ответов:

- полнота и конкретность ответа;
- последовательность и логика изложения;
- связь теоретических положений с практикой;
- обоснованность и доказательность излагаемых положений;
- наличие качественных и количественных показателей;
- уровень культуры речи.

В конце защиты лабораторных работ рекомендуется дать оценку всего занятия, обратив особое внимание на следующие аспекты:

- качество подготовки;
- степень усвоения знаний;
- положительные стороны в работе студентов;
- ценные и конструктивные предложения;
- недостатки в работе студентов;
- задачи и пути устранения недостатков.

Каждая лабораторная работа должна выполняться под руководством преподавателя.

Оказать помощь в изучении и освоении дисциплины, помимо основной и дополнительной литературы, могут: конспекты лекций, задания для подготовки к сдаче тестов, вопросы для подготовки к зачету, регулярные консультации преподавателя.

Геология относится к географическому циклу наук, что предполагает знание географической карты. В связи с этим при проработке теоретического материала настоятельно рекомендуется постоянно иметь под рукой географические карты. Геологическое строение континентов и Мирового океана, характеристику основных геологических особенностей изучаемых территорий следует изучать обязательно с географической картой, находя на ней упоминаемые географические объекты, природные области и т.п. Это освобождает головы студента от необходимости слепого запоминания множества географических названий и терминов.

В то же время «Геология» входит в естественнонаучный цикл дисциплин, а потому требует осмысленного подхода к проработке материала. Необходимо знание основ физики химии, естествознания. Следует ориентироваться, прежде всего, на понимание изучаемых вопросов, а не на механическое запоминание текста.

ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН ЗАНЯТИЙ

Тема 1. Введение

Цель и задачи дисциплины. Место дисциплины в структуре образовательной программы. Планируемые результаты освоения дисциплины. Геология – комплексная дисциплина из цикла наук о Земле. Краткая история и основные этапы развития геологии. Роль российских и зарубежных учёных в развитии науки. Практическое значение геологических исследований в природопользовании и народном хозяйстве страны. Структура и основные разделы науки. Предмет, задачи и методы исследований в геологии. Связь геологии с другими науками. Основные понятия, термины и определения.

Тема 2. Земля в космическом пространстве

Происхождение и строение солнечной системы, строение Земли. Общие сведения о Солнечной системе. Краткая характеристика Солнца, планет и малых тел Солнечной системы. Планеты земной группы, планеты гиганты. Общие сведения о галактиках. Строение Вселенной. Гипотезы возникновения Вселенной, Земли. Гомогенная аккреция, гетерогенная аккреция. Понятия о расширении Вселенной и ее бесконечности. Методы изучения Вселенной.

Тема 3. Основные данные о Земле и земной коре

Краткие сведения о форме и размерах Земли. Понятие о сжатии Земли, сфероиде, геоиде. Понятие о массе и плотности Земли. Изменение плотности с глубиной. Понятие о магнетизме Земли. Магнитные полюсы. Магнитные меридианы. Магнитное склонение и магнитное наклонение. Магнитные аномалии. Теплота Земли. Изменение теплоты с глубиной. Гелиотермическая зона, пояс постоянной температуры, зона геотермии. Геотермический градиент и геотермическая ступень, их зависимость от различных факторов. Вероятная температура глубинных недр Земли.

Внешние оболочки Земли. Внутреннее строение Земли. Модель Гутенберга-Буллена. Состав и строение земной коры, мантии и ядра. Методы геологических исследований. Геологические геофизические методы.

Тема 4. Вещественный состав земной коры

Химический состав земной коры. Минералы. Горные породы. Условия образования и распространенность горных пород.

Тема 5. Возраст земной коры

Геологическое время. Относительное и абсолютное летоисчисление. Геологическое летоисчисление. Радиогеохронологический возраст. Относительная геохронология и методы ее создания. Абсолютная геохронология и методы ее

восстановления. Геохронологическая шкала. Характеристика главных геохронологических подразделений. Методы определения возраста горных пород (относительные, абсолютные). Методы: литологический, палеонтологический, геофизический, стратиграфический. Стратиграфия. Стратиграфическая шкала, стратиграфические подразделения (местные, региональные). Методы определения абсолютного возраста горных пород: радиологические, нерадиологические (соляной, седиментационный, метод ленточных глин, биологический).

Деление истории Земли на эры, периоды, эпохи, века. Стратиграфические и геохронологические подразделения геохронологической шкалы. Методы определения возраста земли и горных пород. Геологическая карта. Геологический разрез.

Тема 6. Главные геологические события в истории Земли

История тектонических событий Земли. Историко-геологическая характеристика геохронологических подразделений. История эволюции Земли в докембрийское время. Палеозойский этап развития Земли. Мезозойско-кайнозойский этап развития Земли. Характеристика четвертичного периода. Антропогенез.

Тема 7. Экзогенные процессы. Выветривание

Общие понятия о геологических процессах. Экзогенные процессы. Выветривание горных пород. Физическое выветривание. Химическое выветривание. Биохимическое выветривание. Коры и профили выветривания. Кора выветривания - современная и ископаемая. Продукты выветривания: элювий и коллювий. Почва и почвообразовательный процесс. Экологическое значение процессов выветривания. Рациональное использование природных богатств и полезных ископаемых, возникших в процессе выветривания.

Тема 8. Экзогенные процессы. Гравитационные процессы

Гравитационные процессы и вызванные ими явления. Факторы гравитационных процессов. Особенности гравитационного переноса и осадконакопления. Обвалы, камнепады, снежные лавины, оползни, сели, медленное сползание и течение грунтов. Гравитационные процессы и их влияние на формирование рельефа, и образование месторождений полезных ископаемых. Экологические особенности гравитационных процессов.

Тема 9. Экзогенные процессы Геологическая деятельность ветра

Деятельность ветра как один из важнейших геологических и рельефообразующих факторов на поверхности суши. Дефляция и коррозия. Эоловая транспортировка. Эоловая аккумуляция. Пылевые бури. Эоловые формы рельефа. Пустыни. Экологическая роль эоловой деятельности.

Тема 10. Экзогенные процессы. Геологическая деятельность поверхностных вод

Плоскостной безрусловой склоновый сток. Деятельность временных русловых потоков. Формирование оврагов. Сток постоянных водотоков – рек. Деятельность рек. Строение пойм и речные террасы. Устья рек. Формирование дельтовия, пролювия, аллювия. Экологическая роль поверхностных водотоков.

Тема 11. Экзогенные процессы. Геологическая деятельность подземных вод

Подземная гидросфера. Виды геологической деятельности подземных вод: карст, суффозия и грязевый вулканизм. Виды воды в горных породах. Подземные текущие воды: верховодка; грунтовые воды; межпластовые воды. Происхождение подземных вод. Типы подземных вод. Грунтовые воды. Напорные подземные воды. Химический состав подземных вод. Источники и минеральные воды. Карстовые процессы. Оползневые процессы. Подземные воды и геоэкология. Техногенное воздействие на подземные воды.

Тема 12. Экзогенные процессы. Геологическая деятельность озер и болот

Происхождение озерных впадин. Геологическая деятельность озер и водохранилищ. Органогенное осадконакопление. Происхождение и типизация болот. Геологическая деятельность болот. Торфонакопление в болотах, формирование бурых углей и железных руд в болотах. Экологическое значение озер, водохранилищ и болот.

Тема 13. Экзогенные процессы. Геологические процессы в областях криолитозоны

География многолетнемерзлых горных пород. Подземные льды и подмерзлотные воды криолитозоны. Геологические процессы в криолитозоне. Экологическое значение областей распространения многолетнемерзлых горных пород.

Тема 14. Экзогенные процессы. Геологическая деятельность ледников и водно-ледниковых потоков

Типы ледников. Режим и движение ледников. Ледниковая денудация и аккумуляция. Водно-ледниковые отложения. Отложения приледниковых областей. Экологическая роль гляциальной среды.

Тема 15. Экзогенные процессы. Геологическая деятельность Мирового океана

Физико-химические свойства вод морей и океанов. Подводный рельеф океанов и морей. Органический мир морей и океанов. Разрушительная деятель-

ность моря. Морское и океаническое осадконакопления. Накопление морских осадков. Преобразование осадков в осадочные породы. Осадочные горные породы морского и океанского генезиса. Понятие о фациях. Экологические особенности и полезные ископаемые морских бассейнов.

Тема 16. Эндогенные процессы. Движения земной коры

Современные вертикальные и горизонтальные движения земной коры. Складчатые и разрывные нарушения. Землетрясения. Механизм возникновения землетрясения и его параметры. Интенсивность землетрясений. Механизм землетрясений. Географическое распространение землетрясений и их геологическая позиция. Прогноз землетрясений. Сейсмостойкое строительство и поведение грунтов при землетрясениях. Цунами.

Тема 17. Эндогенные процессы. Магматизм. Вулканизм. Метаморфизм.

Понятие о магме. Интрузивный магматизм. Вулканизм. Продукты извержения вулканов. Жидкие вулканические продукты. Твердые продукты взрывных извержений. Типы вулканических извержений. Вулканические постройки. Экологические последствия извержения вулканов. Метаморфизм. Фации метаморфизма. Изменения в первичных породах при метаморфизме. Параметры метаморфизма. Ударный метаморфизм.

Тема 18. Главные структурные элементы земной коры и тектоника литосферных плит

Тектоника литосферных плит. Основные тектонические гипотезы в геологии. Пульсационная гипотеза. Фиксизм и мобилизм. Основные структурные элементы платформ. Основные структурные элементы подвижных поясов.

Тема 19. Природные ресурсы Земли. Антропогенная геологическая деятельность

Энергетические природные ресурсы. Минеральные ресурсы. Проблемы загрязнения окружающей среды в период добычи и транспортировки полезных ископаемых. Воздействие человека на литосферу. Человек как геологический фактор. Виды антропогенной геологической деятельности. Антропогенные ландшафты. Истощение недр. Защита земных недр.

**КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ЛЕКЦИОННОГО КУРСА (СОСТАВЛЕНО ПО
ХАИН В.Е., КОРОНОВСКИЙ Н.В., ЯСАМАНОВ Н.А., 1997;
КОРОНОВСКИЙ Н.В., ЯСАМАНОВ Н.А. 2008, 2011;
КОРОНОВСКИЙ Н.В., Я ЯКУШЕВА А.Ф. 1991)**

Предмет и задачи геологии.

Геология – комплексная дисциплина из цикла наук о Земле.

Термин «геология» произведён от двух греческих слов: «гео» – земля и «логос» – знания, наука. Она занимается изучением состава, строения, истории развития Земли и процессов, протекающих в её недрах и на поверхности.

Геология – наука о строении Земли, о ее происхождении, возрасте, развитии и образовании полезных ископаемых.

Важно отметить многостороннюю связь геологии с географией (ландшафтоведением, климатологией, гидрологией, гляциологией, океанографией) в познании различных геологических процессов, совершающихся на поверхности Земли.

Взаимосвязь геологии и географии особенно проявляется в изучении рельефа земной поверхности и закономерностей его развития.

Геология использует данные физики, химии, биологии, математики, астрономии и др.

Объектом изучения геологии являются земная кора и подстилающий слой верхней мантии - литосфера (греч. «литос» – камень).

Сложность изучаемого объекта вызвала значительную дифференциацию геологических наук, комплекс которых совместно с пограничными науками (геофизикой, геохимией и др.) позволяет получить освещение различных сторон строения земной коры, сущность совершающихся процессов, историю развития и др.

Историческая геология занимается историей возникновения и развития планеты Земли, использует палеонтологию – науку о древнем животном и растительном мире;

Динамическая геология изучает разнообразные эндогенные и экзогенные процессы: вулканизм, образование рельефа, возникновение землетрясений, деятельность рек, морей и океанов, образование складок в земных пластах, движение земной коры;

Стратиграфия занята изучением последовательности образования пластов и установлением их возраста;

Петрография изучает горные породы, которые состоят из минералов;

Петрология – способы образования горных пород;

Кристаллография рассматривает внутреннюю структуру минералов, их кристаллическую решетку;

Геохимия изучает распределение химических элементов в земной коре, горных породах, воде и породах других планет (космохимия);

Гидрогеология исследует подземные воды; геокриологи исследуют вечную мерзлоту;

Учением о рудных месторождениях занимается геология полезных ископаемых, а нефть и каменный уголь исследуют специалисты по горючим полезным ископаемым; изучение верхних слоев Земли для строительства – это инженерная геология и грунтоведение, а проникновением в глубины Земли с помощью физических методов занимается геофизика, которая сама подразделяется на много дисциплин, в зависимости от используемого метода. Для поисков полезных ископаемых и для научного прогноза нужны разнообразные геологические карты. Их составляют специалисты по геологической съемке и поискам месторождений полезных ископаемых.

Экологическая геология занимается вопросами охраны окружающей среды и земных недр.

Предмет изучения геологии: минералы, горные породы, органические остатки, современные геологические процессы (экзогенные и эндогенные).

Важнейшей задачей геологии является прогнозирование залежей минерального сырья.

Разработка теоретических проблем геологии сочетается с решением ряда народнохозяйственных задач:

- 1) поиск и открытия новых месторождений различных полезных ископаемых, являющихся основной базой промышленности и сельского хозяйства;
- 2) изучение и определение ресурсов подземных вод, необходимых для питьевого и промышленного водоснабжения, а также мелиорации земель;
- 3) инженерно-геологическое обоснование проектов возводимых крупных сооружений и научный прогноз изменения условий после окончания их строительства;
- 4) охрана и рациональное использование недр Земли.

Земля в космическом пространстве. Образование Вселенной

В наблюдаемой форме Вселенная возникла около 18 - 20 млрд лет назад. До этого времени все ее вещество находилось в условиях бесконечно больших температур и плотностей, которые современная физика не в состоянии описать. Такое состояние вещества называется «сингулярным».

Теорию расширяющейся Вселенной или «Большого Взрыва» (Big Bang, англ.), впервые была создана А.А. Фридманом в России в 1922 г.

В 1927 году бельгийский ученый Ж. Леметр предложил концепцию расширения Вселенной из единой точки.

В 1949 году известный британский астроном и космолог Фред Хойл иронично назвал теорию Леметра об эволюции мира «Большим взрывом». Это название впоследствии закрепилось в космологии.

Плотный раскаленный объект расширился и его частицы разлетелись во все стороны. Частицы постепенно остыли, соединились между собой и продолжают двигаться во Вселенной.

Теория Большого взрыва строится на том, что материя и энергия, из которых состоит все сущее во Вселенной, ранее находились в сингулярном состоянии, т.е. в состоянии, характеризующемся бесконечной температурой, плотностью и давлением. В состоянии сингулярности не действует ни один закон физики, а все, из чего на данный момент состоит Вселенная, заключалось в микроскопически малой частичке, которая в какой-то момент времени пришла в нестабильное состояние, в результате чего и произошел Большой взрыв.

Вечно возникающий вопрос «А что же было до Большого Взрыва?», по мнению известного английского физика С. Хогинса, носит метафизический характер, т.к. это состояние никак впоследствии не отразилось на нынешней Вселенной.

С момента начала Большого Взрыва вещество Вселенной непрерывно расширяется и все объекты в ней и галактики и звезды равно удаляются друг от друга.

Спустя примерно 1 млрд лет после начала Большого Взрыва, в результате сжатия огромных газовых облаков или их протяженных газовых фрагментов, стали формироваться звезды и галактики, скопления миллионов звезд.

Галактика Млечного Пути (ГМП), в которой находится наша Солнечная система – одна из 100 000 миллионов галактик в наблюдаемой части Вселенной, обладает формой уплощенного диска, с диаметром около 100 000 световых лет и толщиной в 20 000 световых лет. В разрезе в центре наблюдается утолщение (балдж), которое состоит из старых звезд и ядро, скрытое облаками плотного газа. Не исключено, что в центре ГМП существует «черная дыра», как в ядрах других спиральных галактик.

Солнце представляет собой небольшую звезду среднего возраста типа желтого карлика, располагается в 3/5 от центра галактики в пределах главного диска.

То, что Солнце принадлежит ГМП, было установлено 65 лет назад шведским ученым Б. Линдбладом и голландским ученым Я. Оортом.

Ближайшая к нам звезда, не считая Солнца, Альфа Центавра – 4 световых года.

Солнце с планетами совершает один оборот вокруг центра ГМП за 250 млн лет со скоростью 240 км/сек. Галактический год играет важную роль в периодизации геологической истории Земли. Галактический год – период вре-

мени, за который Солнечная система совершает один оборот вокруг центра нашей Галактики. Галактический год составляет, по разным оценкам, от 225 до 250 миллионов земных лет.

Чтобы попытаться более наглядно представить шкалу времени, в рамках которой мы оперируем космическими терминами, воспользуемся шкалой Мейерса (1986).

Если 15-20 млрд. лет = 24 часа = 1 сутки. Это время, прошедшее после начала Большого Взрыва (по современным представлениям - 20 млрд лет).

- 1) Спустя 4 сек. в полночь - образование устойчивых атомов.
- 2) 4-5 часов - возникновение галактик и звезд.
- 3) 18 часов - образование Солнечной системы.
- 4) 20 часов - первые формы жизни.
- 5) 22 часа 30 минут - первые позвоночные вышли на сушу.
- 6) 22 часа 30 минут - 23 часа 56 минут - существование динозавров.
- 7) За 10 сек. до полуночи - первые человекообразные.
- 8) За 0,001 сек. до полуночи – «промышленная революция».

Любая звезда формируется в результате коллапса космического облака газа и пыли. Когда сжатие в центре структуры приведет к очень высоким температурам, в центре «сгустка» начинаются ядерные реакции, т.е. превращение водорода в гелий с выделением огромной энергии, в результате излучения которой звезда и светится.

По одной из теорий Солнце образовалось вместе с Солнечной системой около 4,5-5 миллиардов лет назад в результате взрыва одной или нескольких сверхновых звезд.

Изначально Солнечная система представляла собой облако из газа и частиц пыли, которые в движении и под воздействием своей массы образовали диск, в котором возникла новая звезда Солнце и вся наша Солнечная система.

В центре Солнечной системы находится Солнце, вокруг которого по орбитам вращаются девять (восемь) крупных планет.

В настоящее время известно более 60 спутников планет, около 100000 астероидов или малых планет и около 10^{11} комет, а также огромное количество мелких обломков - метеоритов.

Гипотеза Канта-Лапласа.

Это была первая серьезная попытка создать картину происхождения Солнечной системы с научной точки зрения. Она связана с именами французского математика Пьера Лапласа и немецкого философа Иммануила Канта, работавших в конце XVIII века. Они полагали, что прародительницей Солнечной системы является раскаленная газово-пылевая туманность, медленно вращавшаяся вокруг плотного ядра в центре. Под влиянием сил взаимного притяжения туманность начала сплющиваться у полюсов и превращаться в огромный диск.

Плотность его не была равномерной, поэтому в диске произошло расслоение на отдельные газовые кольца. В дальнейшем каждое кольцо начало сгущаться и превращаться в единый газовый сгусток, вращающийся вокруг своей оси. Впоследствии сгустки остыли и превратились в планеты, а кольца вокруг них — в спутники.

Основная часть туманности осталась в центре, до сих пор не остыла и стала Солнцем. Уже в XIX веке обнаружилась недостаточность этой гипотезы, так как она не всегда могла объяснить новые данные в науке, но ценность ее все еще велика.

Планеты Солнечной системы

Различают две группы планет:

Планеты земной группы: Меркурий, Венера, Земля и Марс. Эти планеты небольшого размера с каменистой поверхностью, они находятся ближе других к Солнцу.

При исследовании этих планет выяснилось, что все они обладают малыми размерами и, главное, массами. Самая массивная из планет земной группы — Земля — в 330 000 раз легче Солнца. Однако плотность планет земной группы довольно велика: в среднем, она в пять раз больше плотности воды. Эти четыре планеты имеют твердую поверхность.

Планеты земной группы по-разному вращаются вокруг своей оси: один оборот длится от 24 часов для Земли и до 243-х суток у Венеры.

У планет есть атмосферы: довольно плотная у Венеры и почти незаметная у Меркурия. Земля в этом показателе ближе к Венере, а Марс занимает промежуточное положение между нашей планетой и Меркурием. Состоят эти атмосферы из веществ, молекулы которых относительно тяжелы. В атмосферах Земли, Венеры, Марса можно обнаружить углекислый газ, водяные пары, азот. Меркурий забирает частицы для своей воздушной оболочки из солнечного ветра, а потому в атмосфере планеты, напротив, много легкого гелия. Но гелий в атмосфере не задерживается и улетучивается, на место утраченных частиц Меркурий «приглашает» из окружающего пространства новые. Атмосфера у Меркурия, как бы, не своя.

Схож и химический состав планет первой четверки. Они, в основном, состоят из соединений кремния (силикатов) и железа. Остальные элементы, конечно, тоже присутствуют, но их относительно немного.

Строение планет земной группы также одинаково. В центре планет есть железные ядра разной массы. По-видимому, только Венера не имеет расплавленного железного ядра. У остальных часть его находится в жидком состоянии. Выше ядра находится слой, который называют мантией. Это те самые соединения кремния, о которых было сказано чуть раньше. Мантия тоже может подразделяться на слои: внешний твердый и внутренний жидкий. Верхний слой ман-

тии называют корой. Он подвергается различным внешним воздействиям и несколько отличается от более близких к центру планет слоев мантии.

У этих планет есть магнитные поля: почти незаметное у Венеры и ощутимое у Земли. Меркурий и Марс обладают магнитными полями средней напряженности.

Наконец, планеты земной группы бедны естественными спутниками – еще одним типом небесных тел, населяющих Солнечную систему. Эти тела вращаются не вокруг Солнца, а вокруг планет. В этом смысле, планеты являются спутниками Солнца. Так вот, на четыре планеты земной группы приходится всего три спутника: один большой у Земли и два крохотных у Марса.

Планеты гиганты: Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун. Это крупные планеты, состоящие в основном из газа и им характерно наличие колец, состоящих из ледяной пыли и множества скалистых кусков.

Планеты-гиганты гораздо больше и массивнее планет земной группы. Самый легкий гигант – Уран – в 14,5 раза массивнее Земли. Но даже самая массивная планета Солнечной системы – Юпитер – в 1 000 раз уступает в этом показателе Солнцу. По астрономическим меркам эту разницу можно назвать значительной, но не огромной. В то же время, плотность планет гигантов 3-7 раз уступает плотности планет земной группы.

У планет-гигантов нет ни твердой, ни жидкой поверхности. Газы их обширных атмосфер, уплотняясь с приближением к центру, постепенно переходят в жидкое состояние. Именно отсутствие резкого перехода от газообразного состояния вещества в атмосфере к твердому или жидкому позволяет нам говорить о планетах-гигантах как о планетах без поверхности.

Эти планеты быстро совершают один оборот вокруг своей оси (10-18 часов). При этом, они вращаются слоями: слой планеты, расположенный вблизи экватора, вращается быстрее всего, а околополярные области являются самыми неторопливыми. Планеты-гиганты – нетвердые планеты, этим обстоятельством и вызвано их необычное вращение. По той же причине гиганты сжаты у полюсов, что можно заметить в простой телескоп.

Юпитер и Сатурн, их атмосферы состоят из легких элементов: водорода и гелия. Уран и Нептун в значительной степени содержат в себе метан, аммиак, воду и другие не слишком тяжелые соединения. Другие элементы тоже есть, но их гораздо меньше. Ученые выяснили, что с увеличением массы гиганта растет и его атмосфера. Следовательно, самой обширной атмосферой обладает Юпитер. Уран и Нептун, близкие по массе, мало отличаются и своими атмосферами. Сатурн занимает промежуточное положение. Разница в химическом составе гигантов обусловлена ходом эволюции Солнечной системы.

В центре гигантов есть небольшое твердое ядро, но оно относительно невелико. Атмосфера каждого гиганта плавно переходит в жидкость, а та посте-

ленно тоже уплотняется к центру планет. Скорее всего, в недрах планет-гигантов, где высоки давление и температура, есть слой водорода, обладающего металлическими свойствами. Это необычное вещество не является в полной мере ни газообразным, ни твердым. Но оно обладает важным свойством: проводит ток. Благодаря этому, планеты-гиганты обладают магнитным полем.

Магнитные поля планет-гигантов, в целом, превосходят магнитные поля планет земной группы. Интенсивность магнитного поля качественно определяется размерами магнитосферы планеты: пространства вокруг нее, в котором магнитное поле Солнца уступает планетному. Влияние солнечного ветра – потока заряженных частиц, вырывающихся с поверхности Солнца, – делает очертания магнитосфер несимметричными. В направлении Солнца магнитосферы сплюснуты и непротяженны, зато в обратном направлении они сильно вытянуты. У всех исследованных планет, кроме Сатурна, ось симметрии магнитного поля составляет значительный угол с осью вращения самой планеты.

Почти все естественные спутники планет в Солнечной системе вращаются вокруг планет-гигантов. Точное их число еще не известно. У Сатурна открыто 30 спутников, у Урана – 21, у Юпитера – 39, у Нептуна – 8.

Кроме спутников, планеты-гиганты обзавелись еще и кольцами – скоплениями мелких частиц, вращающихся вокруг планет и собравшихся вблизи плоскости их экваторов. Однако только Сатурн обладает внушительными по размерам кольцами.

Плутон является одним из дальних маленьких объектов Солнечной системы (с 2006 года статус планеты был заменен на статус карликовой планеты).

Ближайшие к Солнцу планеты относятся к внутренним или планетам земной группы.

За поясом астероидов, располагаются планеты внешней группы.

Расстояние от Солнца до Плутона равняется 40 астрономическим единицам (1 А.Е. = 150 млн км, расстояние от Земли до Солнца).

Относительная и абсолютная геохронология и стратиграфия

Любые геологические исследования начинаются с определения состава отложений, с последовательности их образования, взаимного расположения слоев и напластований. Все это необходимо для того, чтобы с максимальной достоверностью показать распространенность, реконструировать условия образования осадков и пластов, раскрыть геологическую историю развития региона и расшифровать характер событий, которые оказались запечатленными в толщах горных пород, а также определить, происходили ли все эти события в одно и то же время либо в разное, а затем оценить, какое событие произошло раньше, а какое позже.

Время событий в геологии часто определяется условными категориями - «древнее», «моложе», отношением одних временных единиц к другим. Подобное деление истории Земли называется относительной геохронологией.

Геохронология – комплекс методов определения абсолютного и относительного возраста горных пород или минералов. В число задач этой науки входит и определение возраста Земли как целого.

Геологические события запечатлеваются в горных породах. Осадочные и вулканогенные породы располагаются в земной коре слоями. Раздел геологической науки, изучающий слои земной коры, их взаиморасположение и последовательность возникновения, называется стратиграфией (лат. «стратум» – слой, «графо» – описываю). В задачу стратиграфии входит: расчленение толщ осадочных и вулканогенных пород на отдельные слои; описание содержащихся в них остатков фауны и флоры; установление возраста слоёв.

Относительная геохронология. Методы относительной геохронологии - методы определения относительного возраста горных пород, которые лишь фиксируют последовательность образования горных пород относительно друг друга.

Эти методы базируются на нескольких простых принципах.

1. В 1669 г. Николо Стено сформулировал принцип суперпозиции, гласящий, что в ненарушенном залегании каждый вышележащий слой моложе нижележащего. ВАЖНО: принцип «только в условиях ненарушенного залегания».

Метод определения последовательности образования слоёв, базирующийся на принципе Стено, часто называют стратиграфическим. Стратиграфия - раздел геологии, занимающийся изучением последовательности образования и расчленением толщ осадочных, вулканогенно-осадочных и метаморфических пород, слагающих земную кору.

2. Следующий важнейший принцип, известный как принцип пересечений, сформулирован Джеймсом Хаттоном. Этот принцип гласит, что любое тело, пересекающее толщу слоев, моложе этих слоев.

3. Нужно отметить и ещё один важный принцип, гласящий, что время преобразования или деформации пород моложе, чем возраст образования этих пород.

По напластованиям осадочных горных пород, особенно тогда, когда слои располагаются горизонтально, можно отчетливо установить относительную геологическую хронологию, т.е. временную последовательность. После того как установлено взаимное расположение пластов по особенностям их строения (расчленение), происходит прослеживание однородных пластов на расстоянии, даже если они находятся на разных уровнях (корреляция). В каждом природном обнажении, если мы точно знаем, что пласты находятся в ненарушенном состоянии, более глубокие (нижележащие) слои всегда древнее перекрывающих.

Литоло́гия (от λίθος «камень» + λόγος «учение»; англ. Sedimentology) — геологическая наука об осадочных горных породах (объект исследования), в Западной Европе и США эта наука называется седиментология.

Литология – важная часть петрографии, изучающая состав, структуру, происхождение и изменение осадочных пород; изучает закономерности и условия образования геологических осадков, процессы консолидации и литификации.

Литологический метод. Литологические критерии являются ведущими при установлении границ и определении объема местных стратиграфических подразделений, картируемых при крупномасштабной геологической съемке, так как только они, как правило, содержат наглядные, хорошо устанавливаемые непосредственно в поле признаки, по которым выделяются и прослеживаются эти подразделения. Учитывая одно из главных правил составления геологических карт для областей развития осадочных толщ (изображать выходы на земную поверхность разновозрастных образований), для получения примерно изохронных границ литологические критерии необходимо применять комплексно и во взаимосвязи со всеми другими корреляционными признаками, в первую очередь палеонтологическими.

К числу основных литологических критериев относятся:

- петрографические типы пород и их минералогические особенности,
- характер слоистости и других текстурные параметры,
- первичная окраска,
- состав конкреций,
- остатки организмов;
- изменения характера цикличности строения разреза;
- наличие перерывов осадконакопления и, как обобщение всех этих данных, смена литогенетических типов отложений, обусловленная сменой соответствующих им фациальных обстановок.

Палеонтологические остатки при литологическом расчленении разрезов и выделении местных стратонтов используются главным образом в качестве характерного компонента вещественного состава пород и одного из наиболее важных показателей палеогеографических условий осадконакопления.

Изучение относительной возрастной последовательности осадочных пород по условиям взаимного залегания пластов позволяет построить стратиграфическую колонку.

Стратиграфическая колонка – это модель слоистой структуры геологических тел разного ранга, построенная на основе различных методов определения последовательности напластования.

Стратиграфическое подразделение (стратиграфическая единица или стратон) – геологическое тело, совокупность горных пород (например, слой или

группа смежных слоёв), занимающая определённое положение в последовательности геологических тел, слагающих земную кору, и характеризующаяся каким либо признаком или комплексом признаков.

Признаками могут быть состав и свойства пород, слагающих данное подразделение, ископаемые остатки организмов и т. д.

Поверхности, отделяющие друг от друга стратиграфические подразделения, называются стратиграфическими границами.

Более древняя граница (нижняя при ненарушенном залегании слоёв) называется подошвой, а более молодая (верхняя) кровлей.

Интервал между кровлей и подошвой называют объёмом стратиграфического подразделения.

Для каждого стратиграфического подразделения можно выделить период времени, в течение которого накапливались слагающие его горные породы.

Этот период или определенный интервал геологического времени называют геохронологическим подразделением.

Таким образом, каждому стратиграфическому подразделению соответствует эквивалентное ему геохронологическое.

СТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ ШКАЛА ОБЩАЯ международная (а. general stratigraphie scale; н. stratigraphische Vergleichsskala; ф. echelle stratigraphique generale; и. escala estratigrafica comun) – совокупность общих стратиграфических подразделений (в их полных объёмах, без пропусков и перекрытий), расположенных в порядке стратиграфической последовательности и таксономической подчинённости. Таксономическим единицам стратиграфической шкалы общей соответствуют единицы геохронологической шкалы.

Подразделения стратиграфической шкалы общей вмещают в себя региональные и местные стратиграфические подразделения, используются для определения их возраста. Обладая потенциальной планетарностью, они являются средством для межрегиональной, межконтинентальной и глобальной корреляции геологических тел.

Главная цель, или конечная задача стратиграфии – разработка хронологической шкалы для датирования геологических событий и естественной периодизации геологической истории. Она достигается решением задач:

- расчленение разрезов и установление стратиграфических подразделений для отдельных участков земной коры;
- корреляция стратиграфических подразделений и разработка стратиграфических схем местного и регионального значения;
- межрегиональная корреляция выделенных стратонаов и их корреляция с Международной стратиграфической шкалой, детализация, уточнение и совершенствование последней.

Слой – это элементарное стратиграфическое подразделение и одновременно элементарная единица наблюдения. Он может выделяться по составу, окраске, текстуре, содержанию включений, характерным ископаемым органическим остаткам, плотности, возрасту и т.д.

Эталонами служат стратотипы стратиграфических подразделений.

Стратотип стратиграфического подразделения (стратотипический разрез) представляет собой конкретный разрез отложений одного или близко расположенных подразделений какой-либо стратиграфической единицы (яруса, горизонта, свиты и др.), который исследователем, впервые выделившим эту единицу, указывается и описывается в качестве типового разреза. Является эталоном для последующего сравнения с соответствующими по геологическому возрасту отложениями других регионов.

Геохронологическая шкала – геологическая временная шкала истории Земли, применяемая в геологии и палеонтологии, своеобразный календарь для промежутков времени в сотни тысяч и миллионы лет.

Стратиграфическая шкала – шкала, показывающая последовательность и соподчинённость стратиграфических подразделений горных пород, слагающих земную кору; отражает этапы исторического развития земной коры.

К региональным стратиграфическим подразделениям относятся горизонт и лона.

Горизонт – основное региональное подразделение стратиграфической шкалы, объединяющее разновозрастные отложения, характеризующиеся определенным комплексом литологических и палеонтологических признаков. Горизонтам присваиваются географические названия, соответствующие местам, где они наиболее хорошо представлены и изучены.

Геохронологическим эквивалентом служит время. Например, хапровский горизонт, распространённый на побережье Таганрогского залива Азовского моря, соответствует толще речных песков, сформировавшихся в конце неогенового периода. Стратотип (наиболее представительный разрез стратиграфического горизонта, являющийся его эталоном) этого горизонта расположен у ст. Хапры. Добавим, что термин «горизонт», употребляемый без географического названия, понимается как слой или пачка слоёв, выделяемых на основании каких-либо особенностей (палеонтологических или литологических), то есть является обозначением свободного пользования.

Лона является частью горизонта выделяемой по комплексу фауны и флоры, характерному для данного региона, и отражает определенную фазу развития органического мира данного региона. Название лоны даётся по виду-индексу. Геохронологическим эквивалентом лоны является время.

Местные стратиграфические подразделения представляют собой толщи пород, выделяемые по ряду признаков, в основном по литологическому или петрографическому составу.

Комплекс – самое крупное местное стратиграфическое подразделение. Комплекс имеет очень большую мощность, сложный состав горных пород, сформированных в течение какого-то крупного этапа развития территории. Комплексу присваивается географическое название по характерному месту его развития. Чаще всего комплексы выделяются при расчленении метаморфических толщ.

Серия охватывает достаточно мощную и сложную по составу толщу горных пород, для которых имеются какие-то общие признаки: сходные условия образования, преобладание определенных типов горных пород, близкая степень деформаций и метаморфизма и т.д. Серии обычно соответствуют единому крупному циклу развития территории.

Основной единицей из местных стратиграфических подразделений представляет собой свита. Свита представляет собой толщу пород, образованных в определенной физико-географической обстановке и занимающих установленное стратиграфическое положение в разрезе. Главные особенности свиты – наличие устойчивых литологических признаков на всей площади ее распространения и четкая выраженность границ. Свое название свита получает по географическому местонахождению стратотипа.

Границы местных стратиграфических подразделений часто не совпадают с границами подразделений единой стратиграфической шкалы.

В процессе работы геологом часто приходится использовать также вспомогательные стратиграфические подразделения – толща, пачка, слой, залежь, и т. д., называемые обычно по характерным породам, цвету, литологическим особенностям или по характерным органическим остаткам.

Общие стратиграфические подразделения обладают потенциальной пространственной и временной непрерывностью. Они могут быть встречены на всех континентах.

Переход от местных и региональных подразделений к единицам общей шкалы является процессом абстрагирования, как и всякое движение от частного к общему.

Общие стратиграфические подразделения – это совокупность горных пород (геологические тела), образовавшихся в течение интервала геологического времени, зафиксированного в стратотипическом разрезе.

Общие стратиграфические подразделения имеют потенциально планетарное распространение. Они отражают общие закономерности (или этапность) развития лито- и биосферы в тесном их взаимодействии между собой и с другими оболочками планеты.

ЯРУС — таксономическая единица, подчиненный отделу. Устанавливается по биостратиграфическим данным, отражающим эволюционные изменения и этапность развития органического мира, как правило, на уровне низких таксонов палеонтологической систематики.

ЗОНА (хронозона) — таксономическая единица, подчиненная ярусу. Зона устанавливается по биостратиграфическим данным и отражает определенную стадию развития одной или нескольких групп фауны или флоры.

РАЗДЕЛ — таксономическая единица, используемая в качестве наиболее крупного подразделения четвертичной системы. Он соответствует относительно длительному и сложному этапу развития климата и охватывает несколько крупных климатических ритмов.

ЗВЕНО — таксономическая единица, подчиненная разделу и используемая для отложений четвертичной системы; возможно ее использование для неогеновых отложений. Звено имеет одновременно индивидуальную биостратиграфическую и климатостратиграфическую характеристики. Оно объединяет комплексы пород, сформировавшиеся во время нескольких климатических ритмов — потеплений (межледниковье, арид) и похолоданий (ледниковье, плювиал).

СТУПЕНЬ — таксономическая единица, подчиненная звену и используемая для отложений четвертичной системы. Выделяется на основании преимущественно климатостратиграфических критериев. Степень объединяет комплексы пород, сформировавшиеся во время глобального (субглобального) похолодания или потепления климата. В средних широтах отвечает отдельному ледниковью или меж-ледниковью, в тропическом поясе — крупному плювиалу или ариду.

Понятие отдела было введено в геологию Л. фон Бухом в 1839 г. при описании юрских отложений Швабии и Франконии. Под отделом понимается часть системы, состоящая из нескольких ярусов. Геохронологическим эквивалентом термина отдел является эпоха. Обычно система включает 2–3 отдела, которые обозначаются с помощью приставок ниже–, средне– и выше–. Например, нижнедевонский, среднетриасовый, верхнемеловой или нижний девон, средний триас, верхний мел.

Система представляет собой достаточно крупное хроностратиграфическое подразделение, охватывающее 2–3 отдела и входящее в состав эратемы (группы). Геохронологический эквивалент системы называется периодом. Продолжительность периодов от 20 до 70 млн лет.

Эратема (группа) в 1841 г. Дж. Филлипс разделил все известные к тому времени осадочные образования, охарактеризованные фауной, на три крупные части: палеозой, мезозой и кайнозой. Эти названия, отражавшие различные уровни развития жизни на Земле, были широко восприняты всеми геологами и в настоящее время являются общеупотребительными для фанерозоя.

Эонотема. Для разграничения до- и послекембрийских образований, т. е. отложений, к которым, по крайней мере в момент установления этого деления, применим и неприменим биостратиграфический метод, г. Чедвик в 1930 г. предложил термины фанерозой – время явной жизни и криптозой – время скрытой жизни. Фанерозой и криптозой были выделены, таким образом как геохронологические подразделения и получили название эоны. Соответственно стратиграфическое подразделение, отвечающее зоне, получило затем название эонотема. По своей продолжительности фанерозой и криптозой несопоставимы. Если первому отвечает интервал около 600 млн лет, то второй охватывает около 3 млрд. лет. Естественно думать, что докембрийские отложения заключают ряд эонотем, различающихся по радиологическим датировкам, эпохам складчатости и характеру метаморфизма пород.

Палеонтологические методы. Главными помощниками стратиграфов являются ископаемые остатки древних организмов. Сходные комплексы ископаемых организмов в двух удаленных местонахождениях – довод в пользу одновозрастности соответствующих слоев.

Трудности: сходные флоры и фауны могут сформироваться одновременно в разных местах. Какие-то виды могут появиться (вымереть) в одном регионе раньше, чем в других. Приходится детально разбираться с каждой конкретной ситуацией.

«Руководящие формы» – это группы организмов, дающие самые надежные датировки для тех или иных отложений. Например, для мезозойских отложений важной руководящей группой являются аммониты, для среднего кембрия – мелкие слепые трилобиты–агностиды и т. д.

Руководящие формы должны удовлетворять нескольким требованиям:

- широкое распространение,
- массовость,
- хорошая сохраняемость,
- быстрая эволюция (недолгий интервал существования),
- встречаемость в отложениях разных типов – напр., для корреляции континентальных и морских отложений (поэтому планктонные животные лучше бентосных, споры и пыльца – лучше, чем листья и корни).

Палеомагнитный метод применим для определения относительного возраста магматических и метаморфических горных пород.

При переходе железосодержащих веществ из жидкого состояния в твердое (например, при застывании лавы) в образующихся минералах сохраняется остаточная намагниченность, причем ее вектор совпадает с ориентацией магнитного поля Земли в момент образования минерала.

По современным представлениям, магнитное поле Земли обусловлено конвективными токами вещества в ядре и мантии, вызывающими процессы по-

добно динамо-машине, генерирующей магнитное поле. По неясным пока причинам магнитное поле Земли через различные интервалы времени меняет свой знак, т.е. испытывает инверсию, и северный полюс меняется местами с южным.

В настоящее время северный конец стрелки компаса направлен на север и наклонен вниз в Северном полушарии, что соответствует нормальной (прямой) полярности. Противоположное направление обозначает обратную (обращенную) полярность. Закрепляясь в горных породах, прямая и обратная полярность составляет сущность магнитостратиграфического метода расчленения отложений. Фиксируя в горных породах разного происхождения интервалы прямой и обратной намагниченности, мы получаем возможность провести стратиграфическую корреляцию отложений в глобальном масштабе.

Палеомагнитный метод чрезвычайно широко используется для определения перемещений литосферных плит в геологическом прошлом, так как по ориентировке вектора остаточной намагниченности можно реконструировать положение какой-либо плиты на сфере земного шара. Концепция тектоники литосферных плит во многом опирается именно на палеомагнитный метод.

В последние два десятилетия широкое распространение в целях корреляции пластов горных пород и их пачек получил геофизический метод отраженных волн общей глубинной точки (МОВ ОГТ), позволяющий на основе отражения сейсмических волн проследить пласты на глубинах до 10 км. Получив название сейсмостратиграфии, данный метод особенно активно используется в нефтяной геологии, так как дает возможность в относительно краткие сроки получить профили на очень большую территорию и выявить структуры и литологические отличия в пластах, благоприятные для появления скоплений нефти и газа.

Абсолютная геохронология представляет собой учение об измерении геологического времени, выраженного в обычных абсолютных астрономических единицах — годах. Абсолютная геохронология определяет время возникновения, завершения и длительность всех геологических событий и, в первую очередь, время образования или преобразования (метаморфизма) горных пород и минералов, так как по их возрасту определяется возраст геологических событий.

Когда мы говорим об абсолютной геохронологии, то подразумеваем, возраст образования какой-либо горной породы в астрономических единицах времени - годах, продолжительность которых признается абсолютной, неизменной в масштабе времени.

В первой половине XX в. появилась реальная возможность измерять действительно абсолютный возраст горных пород, геологических процессов и Земли как планеты. Эта возможность базировалась на открытии процесса радиоактивного распада неустойчивых изотопов целого ряда химических элементов.

Поскольку этот физический процесс идет с постоянной скоростью и не зависит ни от каких внешних воздействий, мы получаем в руки "атомный часовой механизм", позволяющий измерять возраст интересующего нас геологического объекта. Так возник радиометрический метод определения абсолютного возраста горных пород, в основе которого лежит физическое явление радиоактивного распада изотопов ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th , ^{40}K , ^{87}Sr , ^{14}C , ^3H и многих других.

Все эти изотопы нестабильны и обладают вполне определенной, выявленной экспериментально скоростью распада, обычно характеризуемой периодом полураспада, т.е. временем, в течение которого распадается половина атомов данного нестабильного изотопа. Период полураспада радиоактивного элемента известен и определение возраста заключается в том, чтобы найти отношение массы вновь образованного химического элемента к массе материнского изотопа. Радиометрический возраст должен определяться по минералам, содержащим радиоактивные элементы, при этом отсчет времени в "атомных часах" начинается сразу же после кристаллизации данного минерала, который все последующее время вел себя как замкнутая система и сохранял все продукты распада и то количество исходного материнского изотопа, которое осталось после распада.

Если в новообразовавшейся магматической породе: 1) изначально не было продуктов распада данного изотопа; 2) если атомы изотопа и образующиеся продукты его распада не вымывались, не улетучивались и не внедрялись извне, то мы можем очень точно определить возраст породы, измерив соотношение масс изотопа и его продуктов. Знать изначально содержание изотопа в породе для этого не нужно. Например, если в породе обнаружено соотношение ^{40}K и $(^{40}\text{Ar} + ^{40}\text{Ca})$, равное 1:1, то эта порода образовалась 1,3 млрд. лет назад (1 период полураспада).

Учитывая периоды полураспада, различные изотопы используются для определения возраста в разных временных диапазонах.

Радиоактивный углерод ^{14}C , образующийся в верхних слоях атмосферы в результате действия космических лучей на атом азота ^{14}N , используется для определения возраста древесины, торфа и т.д. в пределах 50000 лет, что позволяет успешно применять его в четвертичной геологии и археологии.

Изотопы с большим периодом полураспада с успехом применяются для определения возраста докембрийских пород, диапазон формирования которых превышает 3,5 млрд. лет. Используются уран-свинцовый, торий-свинцовый, свинец-свинцовый, калий-аргоновый, рубидий-стронциевый и другие методы, каждый из которых имеет свои достоинства и недостатки.

Соляной метод был применен для определения возраста Мирового океана. Он основан на предположении, что воды океана были первоначально прес-

ными, то, зная современное количество солей с континентов, можно определить время существования Мирового океана (~ 97 млн. лет).

Седиментационный метод основан на изучении осадочных пород в морях. Зная объем и мощность морских отложений в замкнутых котловинах в отдельных системах и объем минерального вещества, ежегодно сносимого в моря с континентов можно вычислить продолжительность их наполнения.

Биологический метод базируется на представлении о сравнительно равномерном развитии орг. мира. Исходный параметр – продолжительность четвертичного периода 1,7 – 2 млн. лет.

Варвохронология (ленточных глин) – метод абсолютной геохронологии, основанный на подсчёте годовых слоёв в «ленточных» отложениях приледниковых озёр. Для приледниковых озёр характерными отложениями служат так называемые «ленточные глины» - чётко слоистые осадки, состоящие из большого числа параллельных лент. Каждая лента – результат годового цикла осадконакопления в условиях озёр, находящихся большую часть года в замерзшем состоянии.

Она всегда состоит из двух слоёв. Верхний – зимний – слой представлен глинами темного цвета (за счёт обогащения органикой), образованного под ледяным покровом; нижний – летний – сложен более грубозернистыми светло-окрашенными осадками (в основном тонкими песками или алевро-глинистыми отложениями), образованными за счёт приносимого в озеро талыми ледниковыми водами материала. Каждая пара таких слоёв соответствует 1 году.

На основании изменений в развитии органического мира вся история Земли подразделяется на несколько геохронологических этапов (эра период и т.п.), которым соответствуют определенные комплексы отложений (группы, системы и т.п.). В течение этих этапов в различных районах Земли происходили процессы накопления осадков или разрушение ранее образовавшихся отложений.

Более древнюю и продолжительную часть геологической истории называют криптозоом, или временем со скрытым развитием жизни. Довольно часто этот отрезок геологического времени называют докембрием. Это название сохранилось с середины XIX в., когда была установлена последовательность геологических систем. Все более древние отложения, залегающие ниже кембрийской системы, стали именоваться докембрием. В настоящее время в составе криптозоы выделяют три эонотемы: катархей, архей, протерозой.

Широкая распространенность вышележащих отложений, большое количество ископаемых органических остатков и относительная доступность предопределили их лучшую изученность и обусловили более детальную их расчлененность. Английский геолог Дж. Филлипс в 1841 г. в составе фанерозы выде-

лил три эратемы: палеозойскую – эру древней жизни, мезозойскую – эру средней жизни и кайнозойскую – эру новой жизни.

Единая международная стратиграфическая шкала дает представление не только о последовательности напластований, но и об относительном времени, поэтому ее называют единой геохронологической шкалой. Стратиграфическая последовательность слоев и их относительное время образования называют одними и теми же именами. Для того чтобы отличать время образования слоев от последовательности напластований, необходимо давать название времени (период, эпоха, век) или название напластования (система, отдел, ярус).

Общим стратиграфическим подразделениям соответствуют геохронологические эквиваленты.

Формирование Земли и планет земной группы

Аккреция – процесс приращения массы небесного тела путём гравитационного притяжения материи (обычно газа) на него из окружающего пространства.

Планетезималь (от англ. planet – планета и англ. infinitesimal – бесконечно малая) – небесное тело на орбите вокруг протозвезды, образующееся в результате постепенного приращения более мелких тел, состоящих из частиц пыли протопланетного диска. Непрерывно притягивая к себе новый материал и накапливая массу, планетезимали формируют более крупное тело. Отдельные слагающие его фрагменты, взаимно притягиваясь, начинают уплотняться.

Процесс образования планет земной группы, в том числе и Земли, произошёл очень быстро – всего за 100 млн. лет (по самым последним данным – всего за 29 млн лет).

Существует две точки зрения на процесс аккреции. Первая – происходила гомогенная аккреция, когда планетезимали слипались из хорошо перемешанного межзвездного вещества, поэтому первичные планеты оказались однородными, и лишь потом в результате гравитационной дифференциации вращающейся Земли, стали приобретать оболочечное строение. Однако против этой гипотезы есть возражения, в частности – железные и каменные метеориты одного возраста с Землей, но уже дифференцированы по своему составу. Далее – Земле не хватило бы даже 100-200 млн лет (не говоря уже о 29 млн) на полную дифференциацию внутреннего вещества, чтобы соответствовать одновозрастным с нею метеоритам.

Ликвидирует эти трудности вторая модель – гетерогенной аккреции. Она предполагает, что дифференциация вещества происходила в процессе самой аккреции и сразу сопровождалась образованием планетных оболочек. Протопланетное облако разогрелось при гравитационном сжатии до 1250°C и потом постепенно остывало. Поэтому первыми конденсировались наиболее тугоплавкие соединения (в частности железо), из которых в центре образовалось ядро. Затем

оно стало облекаться веществом мантии, состоящим из железо-магнезиальных силикатов с радиоактивными элементами. При этом состав нижней мантии, прилегающей к ядру, представлял собой смесь металлических и силикатных частиц, но на последующих стадиях аккреции мантийная оболочка становилась все более и более гомогенной – в верхних горизонтах металлические и сульфидные компоненты уже отсутствовали, так как они исчерпались в начале аккреции. На последних стадиях аккреции осаждались самые поздние конденсаты протопланетного облака – гидратированные силикаты, летучие компоненты и органические вещества.

Так как между слоями тогда не было четких границ, по всей толще планеты, но особенно на границе мантии и ядра происходила гравитационная дифференциация вещества. Выделявшееся при этом тепло накапливалось под теплоизолирующим экраном мантии, что привело к размягчению верхней части металлического ядра, которое стали называть «жидким». Другими причинами разогрева области Земли на границе «ядро-мантия» являлись в то время: радиоактивный нагрев и адиабатическое сжатие частиц под давлением. «Жидкое» металлическое ядро послужило причиной образования магнитного поля Земли, но это произошло позже – около 3,5 млрд л.н. – именно такой возраст имеют древнейшие намагниченные породы.

Снаружи разогретую мантийную оболочку (протомантию) охлаждал космический холод; она застывала и, в конечном итоге, превращалась в первичную земную кору, (протокору) состав которой практически не отличался от состава мантии, т.е. являлся основным. Протокора состояла из силикатов, насыщенных тяжелыми элементами, в первую очередь железом, а также летучими и радиоактивными компонентами.

Примерно в то же время (5,0-4,5 млрд л.н.) сформировалась и Луна — она также являлась важнейшим источником разогрева земных недр, вызывая сильнейшие приливы в земной коре. Любопытно, что состав Луны почти полностью повторяет состав Земной мантии, при том, что у нее почти нет железного ядра. Существующие гипотезы предлагают 4 варианта возникновения Луны: 1) одновременно с Землей; 2) отрыв Луны от Земли на ранней стадии формирования последней; 3) захват Луны Землей; 4) скользящий удар о Землю тела величиной с половину самой Земли, выброс вещества мантии в околоземное пространство с последующим формированием Луны.

Форма и строение Земли

Процесс становления планеты Земли по современным данным длился около 500 млн. лет и проходил в 3 фазы аккреции.

В течение первой и главной фазы Земля сформировалась по радиусу на 93-95 % и эта фаза закончилась к рубежу 4,4 – 4,5 млрд. лет, т.е. длилась около 100 млн. лет.

Вторая фаза, ознаменовавшаяся завершением роста, длилась тоже около 200 млн. лет.

Третья фаза, продолжительностью до 400 млн лет (3,8-3,9 млрд лет окончание) сопровождалась мощнейшей метеоритной бомбардировкой, такой же, как и на Луне.

Процесс внутренней дифференциации нашей планеты происходил всю ее геологическую историю, продолжается он и сейчас. Однако, уже 3,5-3,7 млрд лет назад, при возрасте Земли в 4,6 млрд лет, у Земли было твердое внутреннее ядро, жидкое внешнее и твердая мантия, т.е. она уже была дифференцирована в современном виде. Об этом говорит намагниченность таких древних горных пород, а, как известно, магнитное поле обусловлено взаимодействием жидкого внешнего ядра и твердого внешнего.

Процесс расслоения, дифференциации недр происходил на всех планетах, но на Земле он происходит и сейчас, обеспечивая существование жидкого внешнего ядра и конвекцию в мантии.

Атмосфера и гидросфера Земли возникли в результате конденсации газов, выделявшихся на ранней стадии развития планеты.

Основные данные о Земле и земной коре.

Диаметр Земли 12756 км; масса $5,98 \cdot 10^{24}$ кг;

Плотность 5510 кг/м^3 ;

Период вращения 23 ч 56 м 4,1 с;

Период обращения 365,26 суток;

Эксцентриситет орбиты 0,017;

Площадь поверхности – 510 млн км^2 ;

Объем – $1,083 \cdot 10^{12} \text{ км}^3$.

Под воздействием силы тяжести Земля имеет сжатие в направлении оси вращения и, следовательно, её форма представляет собой эллипсоид вращения, или сфероид. Земной эллипсоид, был вычислен в 1940 г. геодезистом А.А. Изотовым и назван им «эллипсоидом Красовского» в честь Ф.Н. Красовского известного русского геодезиста.

Последующими детальными измерениями было доказано, что Земля сжата не только на полюсах, но также несколько и по экватору.

В связи с этим, а также с расчленением рельефа (наличием высоких гор и глубоких впадин) действительной формой Земли является геоид.

Реальная форма Земли лучше описывается фигурой геоида (землеподобная) – эквипотенциальной поверхностью невозмущенного океана, продолженной и на континенты.

Геоид – это некоторая воображаемая уровенная поверхность, которая определяется тем, что направление силы тяжести к ней всюду перпендикулярно. Эта поверхность совпадает с уровнем воды в Мировом океане, который

мысленно проводится под континентами. Уровень воды в Мировом океане - это та поверхность, от которой производится отсчёт высот рельефа.

Земля, имея форму геоида, обладает неоднородностью физических свойств и дифференцированностью состава сферических оболочек: земной коры, мантии, внешнего и внутреннего ядра.

Земная кора и верхняя часть верхней мантии, образующие твердую литосферу, подстилаются пластичной астеносферой, играющей важную роль в глубинных геологических процессах.

Химический состав Земли близок к среднему химическому составу метеоритов, а состав сферических оболочек резко неоднороден и изменяется с глубиной.

В настоящее время принимается эллипсоид Ф. Н. Красовского, основные параметры которого подтверждаются современными исследованиями и с орбитальных станций.

По этим данным экваториальный радиус равен 6378,245 км, полярный радиус - 6356,863 км, полярное сжатие- $1/298,25$. Объем Земли составляет $1,083 \cdot 10^{12}$ км³, а масса - $6 \cdot 10^{27}$ г. Ускорение силы тяжести на полюсе 983 см/с^2 , на экваторе 978 см/с^2 .

Площадь поверхности Земли около 510 млн. км², из которых 70,8% представляет Мировой океан и 29,2% - суша. В распределении океанов и материков наблюдается определенная диссимметрия. В Северном полушарии это соотношение составляет 61 и 39%, в Южном-81 и 19%.

Внутреннее строение Земли

Изучение внутреннего строения Земли производится различными методами. Геологические методы, основанные на изучении естественных обнажений горных пород, разрезов шахт и рудников, кернов глубоких буровых скважин, дают возможность судить о строении приповерхностной части земной коры.

Глубина известных пробуренных скважин достигает 7,5-9,5 км, и только одна в мире опытная скважина, заложенная на Кольском полуострове, уже достигла глубины более 12 км при проектной глубине до 15 км. В вулканических областях по продуктам извержения вулканов можно судить о составе вещества на глубинах 50-100 км. Бурение под толщей океанских вод, осуществляемое со специальных плавучих буровых установок на кораблях сначала «Гломар Челленджер», а потом «Джоидес Резолюшн», дало результат всего лишь в 1,5 км.

Глубинное строение Земли изучается главным образом геофизическими методами: сейсмическим, гравиметрическим, магнитометрическим и др.

Одним из важнейших методов является сейсмический (греч. «сеймос» - трясение) метод, основанный на изучении естественных землетрясений и ис-

кусственных землетрясений, вызываемых взрывами или ударными вибрационными воздействиями на земную кору.

Возникающие в очаге землетрясений сейсмические волны как бы просвечивают Землю и дают представление о той среде, через которую они проходят. В очаге (или фокусе) возникают два главных типа волн:

- 1) самые быстрые продольные Р-волны (т.е. первичные-primary);
- 2) более медленные поперечные S-волны (т.е. вторичные - secondary).

Выделяют два типа сейсмических волн: объемные и поверхностные.

Объемные волны бывают продольными и поперечными. Они были открыты в 1828 г. Пуассоном, а идентифицированы английским сейсмологом Олдгеймом в 1901 г.

Продольные волны - это волны сжатия, распространяющиеся в направлении движения волны. Они обозначаются латинской буквой Р (primary - первичный, англ.), т.к. у них скорость распространения выше других волн и они первыми приходят на сейсмоприемники.

Поперечная волна, обозначаемая буквой S (secondary - вторичный, англ.), это волна сдвига, при которой и деформации в веществе происходят поперек направления движения волны.

Поверхностные волны распространяются в поверхностном слое земной коры. Различают волны Лява и Рэлея.

В волнах Лява колебания осуществляются только в горизонтальной плоскости поперек направления движения волны.

Волны Рэлея подобны волнам на воде, в них частицы вещества совершают круговые движения.

Когда происходит сильное землетрясение, сейсмические волны распространяются во все стороны, пронизывая земной шар во всех направлениях. Расставленные по всему миру сейсмические станции принимают сигналы от волн разного типа, преломленных и отраженных.

Проходя через слои пород разного состава и плотности, волны изменяют свою скорость, а, регистрируя эти изменения внутри земного шара, можно выделить главные границы или поверхности раздела.

Австралийский сейсмолог К. Буллен разделил Землю на ряд зон, дал им буквенные обозначения в определенных усреднённых интервалах глубин, которые используются с некоторыми изменениями до настоящего времени.

1. Земная кора (слой А) - верхняя оболочка Земли, мощность которой изменяется от 6-7 км под глубокими частями океанов до 35-40 км под равнинными платформенными территориями континентов, до 50-70(75) км под горными сооружениями (наибольшие под Гималаями и Андами).

2. Мантия Земли (слои В, С, D), распространяющаяся до глубин 2900 км. В ее пределах по сейсмическим данным выделяются: верхняя мантия - слой В

глубиной до 400 км и С - до 800-1000 км (некоторые исследователи слой С называют средней мантией); нижняя мантия - слой D до глубины 2700 с переходным слоем D' - от 2700 до 2900 км.

3. Ядро Земли (слои E, F, G), подразделяемое: на внешнее ядро - слой E в пределах глубин 2900-4980 км; переходную оболочку - слой F - от 4980 до 5120 км и внутреннее ядро - слой G до 6971 км.

Земная кора — это твердая верхняя (внешняя) оболочка Земли.

Земная кора состоит из легкоплавких силикатов с преобладанием алюмосиликатов.

Больше всего в земной коре кислорода (49,13 %), кремния (26 %) и алюминия (7,45 %).

Кислород в земной коре содержится не в свободном виде, а в форме оксидов.

Здесь в среднем находится 58% SiO₂, 15% Al₂O₃, 8% FeO и Fe₂O 3,6% CaO, 4% MgO и Na₂O, 2,5% K₂O.

В разных горных породах довольно много содержится радиоактивных долгоживущих изотопов урана, тория и калия.

Слои, лежащие выше астеносферы и включающие земную кору и самую верхнюю, жёсткую, часть мантии, называются литосферой (A).

Её толщина и плотность связаны с рельефом поверхности Земли. В высокогорных областях плотность литосферы меньше, а толщина её больше, чем в низменных.

Литосфера, имея меньшую плотность, чем астеносфера, как бы плавает в размягчённой астеносфере.

По одной из гипотез, рельеф её нижней границы зеркальным образом отображает рельеф внешней поверхности.

Согласно другой гипотезе, нижняя граница литосферы лежит на постоянной глубине – около 100 км. Истинная картина, вероятно, представляет собой нечто среднее между этими двумя крайними предположениями.

Литосфера холодная, поэтому она жесткая и может выдержать большие нагрузки. На глубине в 1000 км в нижней мантии скорость волн Р достигает 11,2- 11,5 км/с, а V_s = 7,2-7,3 км/с.

Кора выветривания – это толща материнских пород верхней части литосферы, преобразованных в континентальных условиях различными агентами (факторами) выветривания.

От коренных пород отличается рыхлой структурой и химическим составом.

Формирование коры выветривания происходило во все геологические периоды, её наличие свидетельствует о континентальном выветривании территории.

Земная кора (А) ограничивается снизу очень четкой поверхностью скачка скоростей волн Р и S.

Ниже этой границы скорость продольных волн воз растает до 7,9-8, а иногда даже до 8,3 км/с, поперечных волн – до 4,5-4,7 км/с.

Сейсмический раздел впервые был установлен югославским сейсмологом А. Мохоровичичем в 1909 г. и в честь его назван поверхностью Мохоровичина (сокращенно Мохо или М).

Второй резкий раздел совпадает с переходом от нижней мантии (D) к внешнему ядру, где наблюдается скачкообразное падение скорости продольных волн с 13,6 до 8,1 км/с, а поперечные волны гасятся. Внезапное резкое уменьшение скорости продольных волн и исчезновение поперечных волн во внешнем ядре свидетельствуют о необычайном состоянии вещества, отличающемся от твердой мантии. Эта граница названа именем Б. Гутенберга.

Третий раздел совпадает с основанием слоя F и внутренним ядром Земли (слой G).

Слой В (верхняя мантия) сложен породами ультраосновного состава – перидотитами, состоящими в основном из оливина и пироксенов. В нём есть область, где температура близка к температуре плавления пород. Здесь расположен слой пониженной вязкости вещества, называемый астеносферой, верхняя граница которого проходит на глубине 50–100 км и более от поверхности Земли.

Наличие астеносферы обуславливает эндогенные процессы в земной коре (магматизм, метаморфизм); ей принадлежит ведущая роль в тектонических движениях, расположенных выше жёстких блоков. Скорости сейсмических волн в астеносфере понижены.

Астеносферный слой расположен ближе всего к поверхности под океанами, от 10-20 км до 80-200 км, и глубже, от 80 до 400 км под континентами, причем залегание астеносферы глубже под более древними геологическими структурами, например, под докембрийскими платформами, чем под молодыми.

Слой С (средняя мантия, слой Голицына) характеризуется быстрым ростом скоростей продольных и поперечных волн как с глубиной, так и по латерали, что связано с фазовыми переходами минералов в более плотные и жёсткие модификации. Нижняя граница слоя С не везде чётко выражена. На глубине 660–670 км выделяют границу фазового перехода минерала оливина, на которой происходят важные геодинамические процессы.

Слой D (нижняя мантия) простирается до глубины 2980 км. Его верхняя часть, по мнению большинства исследователей, имеет перовскит - магнезиевюститовый состав.

Учёные предполагают, что нижняя часть мантии сохранила состав, отвечающий исходному веществу, из которого образовалась Земля.

Область на границе между ядром и мантией обычно выделяют в особый переходный слой мощностью 200–300 км и обозначают D''; вышележащий слой обозначают D'. Переходный слой обладает пониженной вязкостью и повышенной латеральной неоднородностью. Этот слой играет важную роль в процессах внутренней динамики Земли.

Ядро Земли — центральная, наиболее глубокая часть планеты Земля, геосфера, находящаяся под мантией Земли и, предположительно, состоящая из железо-никелевого сплава с примесью других (Co, Cr, Mn, Si и др.) элементов. Глубина залегания – 2900 км. Средний радиус сферы – 3500 км.

Разделяется на твердое внутреннее ядро радиусом около 1300 км и жидкое внешнее ядро толщиной около 2200 км, между которыми иногда выделяется переходная зона. Температура на поверхности твёрдого ядра Земли предположительно достигает 6230 ± 500 К (5960 ± 500 °C), в центре ядра плотность может составлять около 12,5 т/м³, давление до 3,7 млн. атм. (375 ГПа). Масса ядра – $1,932 \cdot 10^{24}$ кг.

Предположение о существовании внутри Земли области повышенной плотности высказал Генри Кавендиш, который вычислил массу и среднюю плотность Земли и установил, что она значительно больше, чем плотность, характерная для пород, выходящих на земную поверхность.

Существование было доказано в 1897 году немецким сейсмологом Э. Вихертом, а глубина залегания (2900 км) определена в 1910 году американским геофизиком Б. Гутенбергом.

Строение и типы земной коры

Земную кору – верхнюю твёрдую оболочку Земли – составляют различные генетические типы горных пород (магматические, осадочные и метаморфические), состоящие из определённого сочетания минералов, в состав которых входят различные химические элементы.

Земная кора больше чем на 98% сложена кислородом (O), кремнием (Si), алюминием (Al), железом (Fe), магнием (Mg), кальцием (Ca), натрием (Na), калием (K). Свыше 80% этого перечня приходится на долю кислорода, кремния и алюминия.

Минералами называются природные химические соединения или отдельные химические элементы, возникшие в результате физико-химических процессов, происходящих в Земле. Количество известных в настоящее время минералов превышает 2000.

Горные породы представляют естественные минеральные агрегаты, образующиеся в земной коре или на её поверхности в ходе различных геологических процессов. Основную массу горных пород составляют породообразующие минералы. Кроме этих минералов, в природе могут присутствовать и другие, более редкие минералы, состав и количество которых в породах непостоянны.

Для земной коры характерна горизонтальная неоднородность (анизотропия), выражающаяся в различии состава, строения, мощности и др. характеристик коры в пределах её структурных элементов: континентов и океанов, платформ и складчатых поясов, впадин и поднятий и др.

Выделяют четыре типа земной коры:

1. Континентальный, 2. Океанский, 3. Субконтинентальный и 4. Субокеанский.

Океаническая кора обладает 3-х слойным строением (сверху вниз): 1-й слой представлен осадочными породами, в глубоководных котловинах не превышающей в мощности 1 км и до 1,5 км вблизи континентов. Породы представлены карбонатными, глинистыми и кремнистыми осадками.

2-й слой сложен, в основном, базальтовыми pillow (подушечными) лавами, с тонкими прослоями осадочных пород. В нижней части этого слоя располагается своеобразный комплекс параллельных даек базальтового состава, служившим подводными каналами для подушечных лав. Мощность – до 2,5-3 км.

3-й слой представлен кристаллическими магматическими породами, главным образом, основного состава – типа габбро и реже ультраосновного (серпентиниты, пироксениты), располагающимся в нижней части слоя, глубже которого располагается поверхность М и верхняя мантия. Бурением не вскрыт.

Континентальная земная кора также имеет 3-х членное строение, но структура ее иная (сверху вниз):

1-й осадочно-вулканогенный слой обладает мощностью от 0 на щитах платформ до 25 км в глубоких впадинах, например, в Прикаспийской. Возраст осадочного слоя колеблется от раннего протерозоя до четвертичного.

2-й слой образован различными метаморфическими породами: кристаллическими сланцами и гнейсами, а также гранитными интрузиями: 50 % граниты и 40 % гнейсы и др. метаморфизированные породы. Мощность слоя изменяется от 15 до 30 км в различных структурах.

3-й слой, образующий нижнюю кору, сложен сильно метаморфизованными породами, в составе которых преобладают основные породы. Поэтому он называется гранулит-базитовым. Частично он был вскрыт Кольской сверхглубокой скважиной. Нижняя кора обладает изменчивой мощностью в 10-30 км. Граница между «гранитовым» и «базальтовым» слоями – раздел Конрада.

Поверхность Конрада (англ. Conrade discontinuity) – условная граница, разделяющая гранитный (верхний) и базальтовый (нижний) слои земной коры, выявляемая по увеличению скорости прохождения сейсмических волн.

Основные отличия океанической коры от континентальной:

отсутствие «гранитного» слоя,

суущественно меньшая мощность (в ср. 5–7 км), до 10-15 км,

более молодой возраст (юра, мел, кайнозой; менее 170 млн. лет),
большая латеральная однородность.

Океаническая кора формируется на дивергентных границах литосферных плит (протягиваются вдоль осевых частей срединно-океанических хребтов), на которых происходит подъём к поверхности и застывание базальтовой магмы.

Континентальная кора образуется в процессе переработки океанической коры на активных континентальных окраинах.

ДИВЕРГЕНТНАЯ ГРАНИЦА ПЛИТ (конструктивная граница плит), линейная зона концентрации современной сейсмической и магматической активности, вдоль которой происходит раздвижение литосферных плит.

Дивергентная граница плит прослеживается вдоль осевых частей срединно-океанических хребтов (напр., граница между Южно-Американской и Африканской литосферными плитами, протягивающаяся по оси Срединно-Атлантического хребта), где путём спрединга непрерывно образуется новая океаническая кора. Возраст коры увеличивается примерно симметрично в обе стороны от дивергентной границы плит.

Субконтинентальный тип земной коры по строению аналогичен континентальному, но стал выделяться в связи с нечетко выраженной границей Конрада. Этот тип коры связывают с островными дугами - Курильскими, Алеутскими и окраинами материков. Здесь выделяется первый верхний осадочно-вулканогенный слой мощностью от 0,5 до 5 км (в среднем 2-3 км). Ниже располагается второй – островодужный гранито-метаморфический («гранитный») слой мощностью 5-10 км. Третий – «базальтовый» слой залегает на глубинах 8-15 км и характеризуется изменчивой мощностью. Наблюдается в вулканических островных дугах, где океаническая кора превращается в континентальную.

Субокеанский тип земной коры приурочен к котловинным частям (с глубиной выше 2 км) окраинных и внутриконтинентальных морей (Охотское, Японское, Средиземное, Черное и др.). По строению этот тип близок к океанскому, но отличается от него повышенной мощностью (4-10 и больше км) осадочного слоя, мощностью 5-10 км. Субокеаническая кора представляет собой утончённую в результате рифтогенеза до 15–20 км континентальную кору, пронизанную дайками и sillами основных магматических пород; развита вдоль континентальных склонов и подножий, а также подстилает глубоководные впадины некоторых задуговых бассейнов.

По мнению В. Е. Хаина, указанные промежуточные типы земной коры лучше рассматривать в генетическом плане, называя субконтинентальную кору переходной (в смысле развития) от океанической к континентальной, а субокеаническую - от континентальной к океанической.

Основы тектоники. Структурные элементы земной коры.

Тектоника плит — современная геологическая теория о движении литосферы. Она утверждает, что земная кора состоит из относительно целостных блоков — плит, которые находятся в постоянном движении друг относительно друга. При этом в зонах расширения (срединно-океанических хребтах и континентальных рифтах) в результате спрединга (seafloor spreading — растекание морского дна) образуется новая океаническая кора, а старая поглощается в зонах субдукции. Теория объясняет землетрясения, вулканическую деятельность и горообразование, большая часть которых приурочена к границам плит.

Впервые идея о движении блоков коры была высказана в теории дрейфа континентов, предложенной Альфредом Вегенером в 1920-х годах. Эта теория была первоначально отвергнута. Возрождение идеи о движениях в твёрдой оболочке Земли («мобилизм») произошло в 1960-х годах, когда в результате исследований рельефа и геологии океанического дна были получены данные, свидетельствующие о процессах расширения (спрединга) океанической коры и пододвигания одних частей коры под другие (субдукции). Объединение этих представлений со старой теорией дрейфа материков породило современную теорию тектоники плит, которая вскоре стала общепринятой концепцией в науках о Земле.

В теории тектоники плит ключевое положение занимает понятие геодинамической обстановки — характерной геологической структуры с определённым соотношением плит. В одной и той же геодинамической обстановке происходят однотипные тектонические, магматические, сейсмические и геохимические процессы.

Земная кора испытывает горизонтальные и вертикальные тектонические движения. В ней расположены очаги землетрясений, формируются магматические очаги, породы локально или на больших площадях подвергаются метаморфизму.

Тектонические движения земной коры и протекающие в ней эндогенные процессы обусловлены существованием в недрах Земли частично расплавленной астеносферы.

Под действием тектонических движений и деформаций, магматической деятельности, метаморфизма, экзогенных процессов (перемещение ледников, оползни, карст, речная эрозия и др.) горные породы земной коры вовлекаются в складчатые и разрывные тектонические дислокации.

Воздействие на породы земной коры атмо-, гидро- и биосферы приводит к их выветриванию.

Литосфера делится на 8 крупных плит, десятки средних плит и множество мелких. Между крупными и средними плитами располагаются пояса, сложенные мозаикой мелких коровых плит.

-границы плит являются областями сейсмической, тектонической и магматической активности;

-внутренние области плит слабо сейсмичны и характеризуются слабой проявленностью эндогенных процессов.

Некоторые литосферные плиты сложены исключительно океанической корой (пример — крупнейшая тихоокеанская плита), другие состоят из блока континентальной коры, впаянного в кору океаническую.

Более 90 % поверхности Земли покрыто 8 крупнейшими литосферными плитами:

Австралийская плита

Антарктическая плита

Африканская плита

Евразийская плита

Индостанская плита

Тихоокеанская плита

Северо-Американская плита

Южно-Американская плита

Различают три типа относительных перемещений плит:

- расхождение (дивергенция),
- схождение (конвергенция),
- сдвиговые перемещения (скольжения).

Дивергентные границы — границы, вдоль которых происходит раздвижение плит.

Процессы горизонтального растяжения литосферы называют рифтогенезом. Эти границы приурочены к континентальным рифтам и срединно-океаническим хребтам в океанических бассейнах.

Закладываться рифты могут и на континентальной, и на океанической коре, образуя единую глобальную систему.

Процесс раздвижения плит в зонах океанских рифтов (срединно-океанических хребтов) сопровождается образованием новой океанической коры за счёт магматических базальтовых расплавов поступающих из астеносферы.

Процесс образования новой океанической коры за счёт поступления мантийного вещества называется спрединг.

Признак дивергентной границы — разломы и вулканическая деятельность.

Пример. Восточно-Африканская рифтовая долина, также Великая рифтовая долина или Восточно-Африканский разлом — крупное рифтовое образование рельефа, простирающееся от северной Эфиопии до центрального Мозамбика в Восточной Африке. Сформировалась в результате геологических сдвигов на границе Африканской и Аравийской тектонических плит. Северная часть образования заполнилась водой, образовав Красное море.

Конвергентные границы – границы, вдоль которых происходит столкновение плит. Главных вариантов взаимодействия при столкновении может быть три: «океаническая – океаническая», «океаническая – континентальная» и «континентальная – континентальная» плиты.

В зависимости от характера сталкивающихся плит, может протекать несколько различных процессов.

Субдукция – процесс поддвига океанской плиты под континентальную или другую океаническую. Зоны субдукции приурочены к осевым частям глубоководных желобов, сопряжённых с островными дугами (являющихся элементами активных окраин). На субдукционные границы приходится около 80% протяжённости всех конвергентных границ.

При столкновении континентальной и океанической плит естественным явлением является сдвиг океанической (более тяжёлой) под край континентальной; при столкновении двух океанических погружается более древняя (то есть более остывшая и плотная) из них.

Зоны субдукции имеют характерное строение:

глубоководный желоб – вулканическая островная дуга – задуговый бассейн.

Погружение субдуцирующей плиты в мантию трассируется очагами землетрясений, возникающих на контакте плит и внутри субдуцирующей плиты (более холодной и вследствие этого более хрупкой, чем окружающие мантийные породы). Эта сейсмофокальная зона получила название зона Бенъофа-Заварицкого.

В зонах субдукции начинается процесс формирования новой континентальной коры.

Большинство современных зон субдукции расположены по окраинам Тихого океана, образуя тихоокеанское огненное кольцо. Процессы, идущие в зоне конвергенции плит, считаются одними из сложных в геологии. В ней смешиваются блоки разного происхождения, образуя новую континентальную кору.

Значительно более редким процессом взаимодействия континентальной и океанской плит служит процесс обдукции – надвигания части океанической литосферы на край континентальной плиты. Некоторые исследователи считают, что в наше время этот процесс происходит на юго-западном побережье Южной Америки.

При столкновении континентальных плит, кора которых более лёгкая, чем вещество мантии, и вследствие этого не способна в неё погрузиться, протекает процесс коллизии.

В ходе коллизии края сталкивающихся континентальных плит дробятся, сминаются, формируются системы крупных надвигов, что приводит к росту горных сооружений. ПРИМЕР: столкновение Индостанской плиты с Евразий-

ской, сопровождающееся ростом грандиозных горных систем Гималаев и Тибета.

Трансформные границы – границы, вдоль которых происходят сдвиговые смещения плит.

Объём поглощённой в зонах субдукции океанской коры равен объёму коры, возникающей в зонах спрединга. Это положение подчёркивает мнение о постоянстве объёма Земли. Но такое мнение не является единственным и окончательно доказанным.

Трансформный разлом — тип разлома, который располагается вдоль границы литосферной плиты. Относительное движение плит является преимущественно горизонтальным и направленным вдоль разлома, то есть кора в месте разлома не создаётся и не уничтожается.

Там, где плиты двигаются параллельным курсом, но с разной скоростью, возникают трансформные разломы — грандиозные сдвиговые нарушения, широко распространённые в океанах и редкие на континентах.

В океанах трансформные разломы идут перпендикулярно срединно-океаническим хребтам (СОХ) и разбивают их на сегменты шириной в среднем 400 км. Между сегментами хребта находится активная часть трансформного разлома. На этом участке постоянно происходят землетрясения и горообразование, вокруг разлома формируются многочисленные оперяющие структуры — надвиги, складки и грабены. В результате, в зоне разлома нередко обнажаются мантийные породы.

По обе стороны от сегментов СОХ находятся неактивные части трансформных разломов. Активных движений в них не происходит, но они чётко выражены в рельефе дна океанов линейными поднятиями с центральной депрессией.

Трансформные разломы формируют закономерную сетку и, очевидно, возникают не случайно, а в силу объективных физических причин. Совокупность данных численного моделирования, теплофизических экспериментов и геофизических наблюдений позволила выяснить, что мантийная конвекция имеет трёхмерную структуру. Кроме основного течения от СОХ, в конвективной ячейке за счёт остывания верхней части потока, возникают продольные течения. Это остывшее вещество устремляется вниз вдоль основного направления течения мантии. В зонах этого второстепенного опускающегося потока и находятся трансформные разломы. Такая модель хорошо согласуется с данными о тепловом потоке: над трансформными разломами наблюдается его понижение.

Сдвиговые границы плит на континентах встречаются относительно редко. Пожалуй, единственным ныне активным примером границы такого типа является разлом Сан-Андреас, отделяющий Северо-Американскую плиту от Тихоокеанской. 800-мильный разлом Сан-Андреас — один из самых сейсмоак-

тивных районов планеты: в год плиты смещаются относительно друг друга на 0,6 см, землетрясения с магнитудой более 6 единиц происходят в среднем раз в 22 года. Город Сан-Франциско и большая часть района бухты Сан-Франциско построены в непосредственной близости от этого разлома.

Как в пределах континентов, так и в пределах океанов выделяются подвижные пояса и относительно устойчивые площади земной коры. На континентах к устойчивым площадям относятся обширные равнинные пространства - платформы (Восточно-Европейская, Сибирская), в пределах которых располагаются наиболее устойчивые участки - щиты (Балтийский, Украинский), представляющие собой выходы древних кристаллических горных пород.

К подвижным поясам относятся складчатые области - молодые горные сооружения, такие, как Альпы, Кавказ, Гималаи, Анды и др.

Материковые структуры не ограничиваются только континентами, в ряде случаев они протягиваются в океан, образуя окраину материков, состоящую из шельфа, глубиной до 200 м, континентального склона с подножием до глубин 2500-3000 м.

В пределах океанов также выделяются стабильные области - океанские платформы - значительные площади ложа океана - обширные абиссальные (греч. "абиссос" - бездна) равнины глубиной 4-6 км, и подвижные пояса, к которым относятся срединно-океанские хребты и активные окраины Тихого океана с развитыми окраинными морями (Охотское, Японское и др.), островными дугами (Курильские, Японские и др.) и глубоководными желобами.

Наиболее крупными структурными элементами земной коры являются континенты и океаны, характеризующиеся различным строением земной коры.

Платформы (франц. plate-forme — плоская форма). Это обширные, малоподвижные участки земной коры (совершают только медленные вертикальные движения). Платформы создают твердый каркас земной коры. Они имеют двухъярусное строение.

1. Верхний ярус (чехол) сложен спокойно залегающими осадочными породами, горизонтально залегающими или смятыми в пологие складки последующими движениями земной коры. Эти осадочные породы могут быть морского и континентального типа, что свидетельствует о медленных вертикальных колебаниях, которые совершает платформа. Мощность осадочного чехла сравнительно небольшая — 3-4 км.

2. Под чехлом располагается нижний ярус платформы, называемый фундаментом. Он сильно смят в складки в предыдущие геологические периоды, имеет различные вкрапления магмы и состоит из складчатых метаморфизованных пород. Фундамент платформы — остаток геосинклинальной области.

Иногда часть фундамента платформы поднимается тектоническими движениями на уровень осадочных пород чехла платформы или выше этих рыхлых отложений. Такая структура платформы называется щитом (Украинский и Балтийский щиты на Восточно-Европейской равнине, Алданский щит в Восточной Сибири, Канадский щит в Канаде).

Обычно щиты очень богаты различными полезными ископаемыми и особенно рудами металлов (пример — добыча железной и медной руды на территории Балтийского щита на Кольском полуострове).

По возрасту все платформы делятся на 3 группы:

а) древние платформы. Сюда относятся платформы, имеющие складчатое основание (фундамент) докембрийского возраста. Фундамент у таких платформ покрыт спокойно залегающими породами более позднего периода. Их называют настоящими платформами. Именно они составляют ядра материков и являются наиболее устойчивыми участками земной коры. Таких платформ всего девять: Русская, Сибирская, Северо-Американская, Южно-Американская (Бразильская), Китайская, Индокитайская, Африкано-Аравийская, Австралийская, Антарктическая;

б) молодые платформы. У этих платформ в складки смяты не только докембрийские, но и палеозойские породы (результат каледонской и герцинской складчатостей) — Западно-Сибирская платформа.

в) есть платформы, еще не оформившиеся окончательно и представляющие переход от стадии геосинклинальной к платформенной. У них поверх складчатого фундамента еще не успел образоваться платформенный чехол. Такие платформы называют просто областями мезозойской складчатости.

Обширные участки платформ, покрытые мощной толщей (от 10 до 16 км) осадочных пород, называются плитами. Например, Западно-Сибирская плита, Польско-Германская плита. Плиты в геологической истории образовались позже древних платформ. В рельефе платформам и плитам соответствуют равнины.

Поверхность фундамента платформы не всегда бывает ровной, она образует пологие прогибы (синеклизы) и поднятия (антеклизы). Прогибы и поднятия покрыты осадочным чехлом, разным по мощности.

Щит — область, лишенная осадочного чехла (территории, испытывающие поднятие).

Плита — область, покрытая осадочным чехлом (территории, испытывающие погружение).

Структура плиты (молодой платформы):

Синеклиза — изометричная область (площадь тысячи км²) с мощным (несколько км) осадочным чехлом (интенсивное прогибание).

Антеклиза – изометричная область (площадь тысячи км²) с маломощным (сотни метров) осадочным чехлом (слабое прогибание).

Авлакоген – узкий линейный прогиб (протяженность – сотни км, ширина – десятки км), заполненный осадочными отложениями мощностью более 5 км (интенсивное опускание фундамента по разломам).

Почти всегда, под центральной частью синеклиз в них есть авлакогены – гигантские погребенные грабены. Глубина залегания фундамента в центральной части авлакогена достигает 10-12 км. Разломы, образующие грабен, часто проникают в осадочный чехол. Такую структуру, состоящую из авлакогена и расположенной над ним синеклизой называют грабен-синеклизой или грабен-синклиналью.

Краевые прогибы или передовые прогибы – образуются на краю платформ в условиях сжатия растущими горными цепями. Они заполняются продуктами разрушения гор или вулканическими породами.

Краевые прогибы сложны по строению, достигают 15-17 км в глубину, а длина их часто равна длине горного сооружения. Они обычно заполнены осадочными породами, накапливающимися здесь в результате выветривания. Эти породы скатываются по склонам гор и скапливаются в краевом прогибе. Так, например, в краевом прогибе, расположенном между Восточно-Европейской равниной и Уралом, добывают нефть (Восточно-Уральское месторождение), каменный уголь, калийные соли (Соликамск – самое крупное месторождение калийных солей в России).

Перикратонные прогибы — формируются на периферии платформ и переходят в краевые (передовые) прогибы складчатых поясов. Обычно имеют асимметричную форму, со стороны платформы борт прогиба более пологий, а со стороны складчатого пояса более крутой и сильной деформированный.

Геосинклинальный пояс (син: складчатый геосинклинальный пояс, складчатый пояс, геосинклиналь /во втором значении/), - обширный линейно вытянутый тектонически высокоподвижный пояс земной коры. Располагается либо между древними континентальными платформами, либо между платформами и ложем океана, включая внутренние и окраинные моря, островные дуги и глубоководные желоба. Длина достигает нескольких десятков тысяч км., ширина - порядка сотен и даже тысяч км. В течение новейшей истории Земли (неоген), т. е. в последние 1,6 млрд. лет, развивались пять главных геосинклинальных поясов: Тихоокеанский Тихоокеанский, кольцом окружающий Тихий океан и отделяющий его ложе от платформ Северной и Южной Америки, Азии, Австралии и Антарктиды; Средиземноморский, сочленяющийся с первым в области Малайского архипелага и простирающийся через юг Евразии и С-Зап. Африки до Гибралтара; Урало-Монгольский (Урало-Монголо-Охотский), огибающий Сибирскую платформу с запада и юга и отделяющий её от Восточно-

Европейской и Китайско-Корейской; Атлантический, охватывающий побережья материков в северной части Атлантического океана, и Арктический - вокруг Северного Ледовитого океана. Иногда Тихоокеанский и Атлантический геосинклинальные пояса подразделяют соответственно на Восточно- и Западно-Тихоокеанский, Восточно- и Западно-Атлантический.

Процесс формирования геосинклинальных областей начинается с длинного прогиба глубокого дна океана между материками или вдоль стыка океанического дна с материком. Под тяжестью накопления морских осадков прогиб приближается к верхней мантии (астеносфере). Это сопровождается образованием трещин и разломов, по которым магма из мантии внедряется в земную кору прогиба. Эти внедрения способствуют преобразованию горных пород в земной коре прогиба, их метаморфизации и образованию рудных полезных ископаемых. Затем начинается складкообразовательный процесс, сопровождающийся подъемом отдельных участков прогиба. Подъем приводит к формированию ряда островов. В рельефе геосинклинальным областям соответствуют горные страны. Первоначальные прогибы преобразуются в складчатые горные сооружения. Земная кора в них становится особо мощной и сложно расчлененной.

При угасании горообразования горная страна под воздействием экзогенных процессов постепенно разрушается и превращается сначала в пенеплен (почти равнину), а затем и в равнину. Со временем геосинклинальные области превращаются в платформу.

Структурные элементы океанической коры. В рельефе дна океанов выделяются следующие наиболее крупные структурные элементы: 1) подводные континентальные окраины; 2) ложе океана; 3) срединно-океанические хребты.

Подводные континентальные окраины делятся на два типа – атлантический (пассивный) и тихоокеанский (активный). В морфологии пассивного типа подводных континентальных окраин выделяют: 1) шельф; 2) континентальный склон; 3) континентальное подножие.

Шельф примыкает непосредственно к суше и представляет собой мелководную часть морского бассейна. Уклоны поверхности дна шельфа составляет около 1° . Континентальный склон представляет собой узкую зону морского дна, ограничивающую шельф со стороны океана и опускающуюся до глубины 2,0-2,5 км.

Поверхность континентальных склонов изрезана многочисленными подводными каньонами – это глубокие ложбины с крутыми отвесными склонами и плоским дном. Они являются результатом деятельности придонных мутьевых потоков, возникающих на краю шельфа при цунами и землетрясениях.

Континентальное подножие – пологонаклонная, слабо волнистая равнина, занимающая промежуточное положение между континентальным склоном и ложем океана.

Активные континентальные окраины отличаются высоким расчленением рельефа и высокой тектонической активностью, т.е. интенсивным извержением вулканов, землетрясениях. Переход от континента к ложу океана более сложный. Он осуществляется через островные дуги и глубоководные желоба. Островные дуги – горные сооружения, выступающие над уровнем морского бассейна своими вершинами в виде островов.

Глубоководные желоба – узкие, глубокие впадины большой протяженности.

Ложе океана занимает более 50% поверхности Мирового океана. Оно располагается на глубинах от 3,5 до 6,0 тыс. м. Большие области океанической коры заняты глубоководными котловинами. Их относительно ровное дно покрыто слоем красных глин. Над океанским дном местами поднимаются одиночные возвышенности с плоскими вершинами. Это гайоты – древние вулканы. Их конусы некогда возвышались над водой, однако в результате тектонических процессов они оказались на значительной глубине. Гайотов особенно много в западной части Тихого океана. Например, Гавайские острова представляют собой базальтовые вулканы.

Срединно-океанические хребты пересекают все океаны, образуя единую планетарную систему общей протяженностью свыше 60 тыс. км. Их высота достигает 3-4 км. Вдоль осевой части хребта тянется продольная глубокая впадина, называемая рифтом.

Срединно-океанические хребты являются наиболее активными зонами земной коры. К ним приурочены интенсивны землетрясения, аномально высокие тепловые потоки, извержения вулканов.

Геологическое строение территории России

В основе территории России лежат крупные тектонические структуры (платформы, щиты, складчатые пояса), которые выражены разнообразными формами в современном рельефе – горами, низменностями, возвышенностями и др.

На территории России имеются две крупные древние докембрийские платформы (фундамент их сформировался в основном в архее и протерозое) — это Русская и Сибирская, а также три молодые (Западно-Сибирская, Печорская и Скифская). К плитам платформ приурочены такие крупнейшие формы рельефа, как равнины различной высоты. На Русской плите находится Русская равнина (Восточно-Европейская), на Западно-Сибирской – Западно-Сибирская низменность, на Печорской – Печорская низменность, на Скифской – равнины Предкавказья. Наличие на территории России нескольких крупных платформ обусловило то, что равнины занимают $\frac{3}{4}$ территории России.

Платформы обрамляются горно-складчатыми областями, которые отличаются от платформ характером залегания горных пород и высокой подвижностью земной коры.

Русскую равнину отделяют от Западносибирской древние Уральские горы.

С юго-востока Западно-Сибирскую равнину окаймляют Алтайские горы.

Сибирскую платформу с юга обрамляет пояс гор Южной Сибири. В современном рельефе это Байкальская горная страна, Саяны, Енисейский кряж.

На Алданском щите Сибирской платформы расположены Становой хребт и Алданское нагорье.

К востоку от реки Лены, вплоть до Чукотки, а также в Приморье располагаются значительные горные массивы (хребты: Черского, Верхоянский, Колымское нагорье).

На крайнем северо-востоке и востоке страны проходит Тихоокеанский пояс складчатости, включающий Камчатку, остров Сахалин и гряду Курильских островов. Далее на юг эта область молодых гор продолжается на Японских островах.

Горно-складчатые области России отличаются друг от друга по времени формирования.

По этому признаку выделяют пять видов складчатых областей.

1. Области байкальской и раннекаледонской складчатости (700 – 520 млн лет тому назад, конец протерозоя) образовались территории Прибайкалья и Забайкалья, Восточного Саяна, Тывы, Енисейского и Тиманского кряжей.

2. Области каледонской складчатости (460-400 млн лет, ранний палеозой) сформировались Западный Саян, Горный Алтай.

3. Области герцинской складчатости (300 – 230 млн. лет, поздний палеозой) – Урал, Рудный Алтай.

4. Области мезозойской складчатости (160 – 70 млн. лет, мезозой) – Северо-Восток России, Сихотэ-Алинь.

5. Области кайнозойской складчатости или альпийский цикл (100-30 млн. лет до настоящего времени) – Кавказ, Корякское нагорье, Камчатка, Сахалин, Курильские острова.

Горно-складчатые области отделяются от смежных платформ либо разломами, либо краевыми (предгорными) прогибами. Самыми крупными прогибами являются Предуральский, Предверхоянский и Предкавказский.

Эндогенные геологические процессы

Геологические процессы видоизменяют земную кору и ее поверхность, приводя к разрушению и одновременно созданию горных пород.

Экзогенные процессы обусловлены действием силы тяжести и солнечной энергии, а эндогенные - влиянием внутреннего тепла Земли и гравитации.

Все процессы взаимосвязаны между собой, а их изучение позволяет использовать метод актуализма для познания геологических процессов далекого прошлого.

Магматизм. Процесс магматизма - наиболее значительное проявление внутренней энергии Земли. Он выражается в поднятии из недр к поверхности Земли магмы - силикатного расплава, насыщенного газами, перегретой водой и её парами. В зависимости от того, изливается ли магма на поверхность или застывает на глубине, магматизм разделяется на поверхностный, или эффузивный, именуемый также вулканизмом, и глубинный - интрузивный.

Магма – это расплавленное вещество земной коры. Она образуется при определённых значениях давления и температуры и с химической точки зрения представляет собой флюидно-силикатный расплав, т.е. содержит в своём составе соединения кремнезёма (Si) и кислорода (O) и летучие вещества, присутствующие в виде газа (пузырьков), либо растворённые в расплаве. При затвердевании магматического расплава он теряет летучие компоненты (флюиды).

При определённых геологических и тектонических условиях магма не достигает поверхности Земли и застывает (кристаллизуется) на различной глубине, образуя тела неодинаковой формы и размера интрузивы.

В зависимости от глубины формирования интрузивные массивы подразделяются на приповерхностные, или субвулканические (последнее слово означает, что магма почти подошла к поверхности, но не вышла на неё, т.е. образовался «почти вулкан» или субвулкан) - до первых сотен метров; среднеглубинные, или гипабиссальные - до 1-1,5 км и глубинные, или абиссальные, глубже 1-1,5 км.

Если жидкий магматический расплав достигает земной поверхности, происходит его извержение, характер которого определяется составом расплава, его температурой, давлением, концентрацией летучих компонентов и другими параметрами. Одной из самых важных причин извержений магмы является её дегазация. В зависимости от количества газов, их состава и температуры они могут выделяться из магмы относительно спокойно, тогда происходит излияние - эффузия лавовых потоков. Когда газы отделяются быстро, происходит мгновенное вскипание расплава, и магма разрывается расширяющимися газовыми пузырьками, вызывающими мощное взрывное извержение - эксплозию. Если магма вязкая и температура её невысока, то расплав медленно выжимается, выдавливается на поверхность, происходит экструзия магмы.

После извержений, когда активность вулкана прекращается, на самом вулкане и в его окрестностях сохраняются процессы, связанные с остыванием магматического очага и называемые поствулканическими.

Выходы вулканических газов на поверхность называются фумаролами. Горячие источники или термы, широко распространены в областях современ-

ного вулканизма. Гейзеры – это горячие источники, вода которых периодически фонтанирует и выбрасывается вверх на десятки метров.

Метаморфизм и его типы. Горные породы после формирования могут попасть в такую геологическую обстановку, которая будет совершенно отличаться от обстановки образования породы и на неё будут оказывать влияние различные эндогенные силы: тепло, давление (нагрузка) вышележащих толщ, глубинные флюиды, растворы и газы, воды, водород, углекислота и др. Изменение магматических и осадочных пород в твёрдом состоянии под воздействием эндогенных факторов и называется метаморфизмом.

Выделяют два основных типа метаморфизма: региональный и локальный. В первом случае метаморфизму подвергаются огромные объёмы горных пород, развитые на большой глубине.

Локальный метаморфизм по сравнению с региональным характеризуется проявлением на гораздо меньших площадях и связан с местными активными зонами. Дополнительный тип метаморфизма - ударный, возникающий при воздействии на горные породы мощной ударной волны, вызванной падением на землю крупных метеоритов.

Землетрясения. Землетрясение - это тектонические деформации земной коры или верхней мантии, происходящие вследствие того, что накопившиеся напряжения в какой-то момент превысили прочность горных пород в данном месте. Разрядка этих напряжений и вызывает сейсмические колебания в виде волн, которые, достигнув земной поверхности, производят разрушения.

Процессы внешней динамики (экзогенные)

Под экзогенными факторами понимаются процессы рельефообразования, обусловленные выветриванием, денудацией и аккумуляцией. Они генетически и причинно связаны с эндогенными факторами, приповерхностным гравитационным полем Земли, ее климатом, а также влиянием Солнца и Луны.

Формы рельефа, в образовании которых главная роль принадлежит экзогенным процессам, называются морфоскульптурами.

Выветривание – сочетание процессов разрушения горных пород, слагающих земную поверхность под воздействием внешних оболочек и Солнца. Они подготавливают материал для дальнейших денудации и аккумуляции.

Источники энергии для процессов выветривания – энергия Солнца и физико-химическое воздействие атмосферы и гидросферы. Климат определяет избирательное развитие основных генетических типов выветривания и влияет на скорость их течения.

Денудация по общему характеру воздействия – процесс снижения земной поверхности. Подразделяется на общую, или плоскостную, и линейную, развивающуюся избирательно.

Аккумуляция – процесс повышения земной поверхности. Может быть региональной и локальной.

Генетические типы денудации и аккумуляции зависят от физико-географической обстановки; возникновение процессов, их скорость и продолжительность полностью соответствуют источникам энергии.

Денудация и аккумуляция протекают только при наличии неровностей земной поверхности и прекращаются при их уничтожении.

В геоморфологическом аспекте эндогенные факторы порождают неровности земной поверхности, экзогенные факторы – нивелируют их. От соотношения эндогенных и экзогенных факторов зависит степень выравнивания.

На поверхности суши, в эпиконтинентальных морях, озерах, реках выделяются две основные обстановки развития экзогенных процессов: субаэральная (наземная) и субаквальная (подводная).

В пределах суши различаются платформенная и орогенная обстановки, характеризующиеся различным развитием экзогенных процессов и коррелятивных им отложений.

Выветривание. Под выветриванием понимается совокупность физических, химических и биохимических процессов преобразования горных пород и слагающих их минералов в приповерхностной части земной коры. Это преобразование зависит от многих факторов: колебаний температуры, химического воздействия воды и газов, воздействия органических веществ, образующихся при жизни растений и животных и при их отмирании и разложении.

Процессы выветривания тесно связаны с взаимодействием приповерхностной части земной коры с атмосферой, гидросферой и биосферой. Именно граничная область разных фаз обладает высокой реактивной способностью.

Часть земной коры, в которой происходит преобразование минерального вещества, называется зоной выветривания или зоной гипергенеза (от греч. «гипер» - над, сверху). Процесс гипергенеза зависит от климата, рельефа, органического мира и времени.

Из всей совокупности климатических элементов наибольшее значение имеют тепло (приходно-расходный баланс лучистой энергии и др.) и степень увлажнения (водный режим).

В результате физического и химического процессов разрушения горных пород образуются различные продукты выветривания. Остаточные продукты выветривания, остающиеся на месте разрушения материнских (коренных) горных пород, представляют собой важный генетический тип континентальных образований и называются элювием. Кора выветривания объединяет всю совокупность различных элювиальных образований. Среди кор выветривания выделено два основных морфогенетических типа: площадной и линейный. Площадные коры выветривания развиваются в виде покрова или плаща, занимают об-

ширные площади, представляющие различные выровненные тектонически-спокойные поверхности рельефа.

Линейные коры выветривания - имеют линейное распространение в плане и приурочены к зонам повышенной трещиноватости, к разломам и контактам различных по составу и генезису горных пород.

В зависимости от преобладания тех или иных факторов в едином и сложном процессе выветривания условно выделяются два взаимосвязанных типа: 1) физическое выветривание и 2) химическое выветривание. С ними связаны типы выветривания биологическое и техногенное (антропогенное).

Физическое выветривание. В этом типе наибольшее значение имеет температурное выветривание, которое связано с суточными и сезонными колебаниями температуры, что вызывает то нагревание, то охлаждение поверхностной части горных пород.

Большие различия коэффициента "расширение - сжатие" породообразующих минералов при длительном воздействии колебаний температуры приводят к тому, что взаимное сцепление отдельных минеральных зерен нарушается, образуются трещины и в конце концов происходит дезинтеграция горных пород, их распад на отдельные обломки различной размерности (глыбы, щебень, песок и др.).

В жарких пустынных областях механическое воздействие на горные породы и их дезинтеграция осуществляются ростом кристаллов солей, образующихся из вод, которые попадают в капиллярные трещины в виде растворов. При сильном нагревании вода испаряется, а соли, содержащиеся в ней, кристаллизуются, в результате увеличивается давление, капиллярные трещины расширяются, что способствует нарушению монолитности горной породы.

На горных склонах наряду с выветриванием развиваются различные гравитационные процессы: обвалы, камнепад, осыпи, оползни.

Накопившиеся в основании склонов и их подножий продукты гравитационных процессов (осыпей, обвалов) представляют своеобразный генетический тип континентальных отложений, называемых коллювием (от лат. «коллювио» - скопление).

Интенсивное физическое (механическое) выветривание происходит в районах с суровыми климатическими условиями (в полярных и субполярных странах) с наличием многолетней мерзлоты, обусловливаемой ее избыточным поверхностным увлажнением. В этих условиях выветривание связано с расклинивающим действием замерзающей воды в трещинах и с другими физико-механическими процессами, связанными с льдообразованием.

Температурные колебания поверхностных горизонтов горных пород, особенно сильное переохлаждение, зимой, приводят к объемно-градиентному напряжению и образованию морозобойных трещин, которые в дальнейшем раз-

рабатываются замерзающей в них водой. Такое выветривание иногда называют морозным.

Расклинивающее воздействие на горные породы оказывает также корневая система растущих деревьев. Механическую работу производят и разнообразные роющие животные.

ХИМИЧЕСКОЕ ВЫВЕТРИВАНИЕ

Одновременно с физическим выветриванием в областях с промывным типом режима увлажнения происходят и процессы химического изменения с образованием новых минералов.

При механической дезинтеграции плотных горных пород образуются макротрещины, что способствует проникновению в них воды и газа и, кроме того, увеличивает реакционную поверхность выветривающихся пород.

Это создает условия для активизации химических и биогеохимических реакций. Проникновение воды или степень увлажненности не только определяют преобразование горных пород, но и обуславливают миграцию наиболее подвижных химических компонентов.

Это находит особенно яркое отражение во влажных тропических зонах, где сочетаются высокая увлажненность, высокотермические условия и богатая лесная растительность. Последняя обладает огромной биомассой и значительным спадом. Эта масса отмирающего органического вещества преобразуется, перерабатывается микроорганизмами, в результате в большом количестве возникают агрессивные органические кислоты (растворы). Высокая концентрация ионов водорода в кислых растворах способствует наиболее интенсивному химическому преобразованию горных пород, извлечению из кристаллических решеток минералов катионов и вовлечению их в миграцию.

Особая роль биосферы в геологических процессах была отмечена в работах крупнейшего русского ученого В. И. Вернадского. Он ввел понятие о "живом веществе" как перманентном геологическом деятеле, как аккумуляторе и перераспределителе Солнечной энергии.

К процессам химического выветривания относятся

- окисление,
- гидратация, растворение,
- гидролиз.

Окисление особенно интенсивно протекает в минералах, содержащих железо. В качестве примера можно привести окисление магнетита, который переходит в более устойчивую форму - гематит ($\text{Fe}_2\text{O}_4 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3$). Такие преобразования констатированы в древней коре выветривания КМА, где разрабатываются богатые гематитовые руды. Интенсивному окислению (часто совместно с гидратацией) подвергаются сульфиды железа.

На некоторых месторождениях сульфидных и других железных руд наблюдаются «бурожелезняковые шляпы», состоящие из окисленных и гидратированных продуктов выветривания. Воздух и вода в ионизированной форме разрушают железистые силикаты и превращают двухвалентное железо в трехвалентное.

Под воздействием воды происходит гидратация минералов, т.е. закрепление молекул воды на поверхности отдельных участков кристаллической структуры минерала.

Растворение. Многие соединения характеризуются определенной степенью растворимости. Их растворение происходит под действием воды, стекающей по поверхности горных пород и просачивающейся через трещины и поры в глубину.

Ускорению процессов растворения способствуют высокая концентрация водородных ионов и содержание в воде O_2 , CO_2 и органических кислот.

Из химических соединений наилучшей растворимостью обладают хлориды - галит (поваренная соль), сильвин и др. На втором месте - сульфаты - ангидрит и гипс. На третьем месте карбонаты - известняки и доломиты. В процессе растворения указанных пород в ряде мест происходит образование различных карстовых форм на поверхности и в глубине.

Гидролиз. При выветривании силикатов и алюмосиликатов важное значение имеет гидролиз, при котором структура кристаллических минералов разрушается благодаря действию воды и растворенных в ней ионов и заменяется новой существенно отличной от первоначальной и присущей вновь образованным гипергенным минералам.

В этом процессе происходят: 1) каркасная структура полевых шпатов превращается в слоистую, свойственную вновь образованным глинистым гипергенным минералам; 2) вынос из кристаллической решетки полевых шпатов растворимых соединений сильных оснований (K, Na, Ca), которые, взаимодействуя с CO_2 , образуют истинные растворы бикарбонатов и карбонатов (K_2CO_3 , Na_2CO_3 , $CaCO_3$).

В условиях промывного режима карбонаты и бикарбонаты выносятся за пределы места их образования. В условиях же сухого климата они остаются на месте, образуют местами пленки различной толщины, или выпадают на небольшой глубине от поверхности (происходит карбонатизация); 3) частичный вынос кремнезема; 4) присоединение гидроксильных ионов.

Процесс гидролиза протекает стадийно с последовательным возникновением нескольких минералов. Так, при гипергенном преобразовании полевых шпатов возникают гидрослюда, которые затем превращаются в минералы группы каолинита или галуазита.

Гидролиз карбонатов кальция – весьма распространенное явление при выветривании мрамора, известняков, мергелей, а также при растворении углекислых солей кальция:



Углекислый кальций вследствие гидролиза может вымываться. При этом реакция среды делается щелочной.

В умеренных климатических зонах каолинит достаточно устойчив и в результате накопления его в процессах выветривания образуются месторождения каолина. Но в условиях влажного тропического климата может происходить дальнейшее разложение каолинита до свободных оксидов и гидрооксидов.

Гидролиз алюмосиликатов является одним из наиболее универсальных процессов глубинного химического разрушения минералов, сопровождающийся появлением в растворах слабых концентраций щелочных и щелочноземельных соединений кремнезема и угольной кислоты.

При глубоком гидролизе и распаде альбита в результате выветривания образуются истинные и коллоидные растворы кремнезема, оксиды Al и гидроокись Na, которая очень быстро в присутствии угольной кислоты превращается в углекислую щелочь (реакция карбонатизации). Реакция гидролиза алюмосиликатов — одна из наиболее распространенных в природе; она ведет к образованию подвижных соединений кремнезема, углекислых солей кальция, магния, натрия и калия.

Гидратация минералов обуславливает прибавку до 1000 % к исходному содержанию влаги в породе и этим вызывает значительное увеличение ее объема. Общее же возрастание объема вновь образующейся выветрелой породы составляет до 50-150 % по сравнению с исходным объемом.

В коре выветривания циркулируют обычно не пресные, а слабоминерализованные растворы. Поэтому процессы гидролиза и разрушения минералов под влиянием контакта с водой во много раз усиливаются.

КОРА ВЫВЕТРИВАНИЯ

В результате единого и сложного взаимосвязанного физического, химического и хемобиогенного процессов разрушения горных пород образуются различные продукты выветривания.

Остаточные или несмещенные продукты выветривания, остающиеся на месте разрушения материнских (коренных) горных пород, представляют собой один из важных генетических типов континентальных образований и называют элювием.

Кора выветривания объединяет всю совокупность различных элювиальных образований. Такая остаточная кора выветривания называется автоморфной.

Помимо первичной автоморфной коры выветривания выделяют вторичную, или гидроморфную, кору выветривания, образующуюся в результате выноса почвенными и грунтовыми водами химических элементов в виде истинных и коллоидных растворов в ходе формирования первичной автоморфной коры.

Эти элементы, выносимые растворами, выпадают в виде минералов в пониженных элементах рельефа. Такую взаимосвязь автоморфной и гидроморфной кор выветривания называют геохимической сопряженностью, что имеет важное значение. Так, например, с автоморфными латеритными корами выветривания с гидрооксидами алюминия сочетаются места, расположенные по соседству и орographically ниже залежи бокситов осадочного происхождения.

Геологическая работа ветра. Ветер - один из важнейших экзогенных факторов, преобразующих рельеф Земли и формирующих специфические отложения. Наиболее ярко эта деятельность проявляется в пустынях, занимающих около 20% поверхности континентов, где сильные ветры сочетаются с малым количеством выпадающих атмосферных осадков (годовое количество не превышает 100-200 мм/год); резким колебанием температуры, иногда достигающим 50° и выше, что способствует интенсивным процессам выветривания; отсутствием или разреженностью растительного покрова.

Особенно большие площади заняты пустынями в Азии, Африке, Австралии, меньше в Европе и Америке. Кроме того, активная деятельность ветра проявляется во внепустынных областях - на побережьях океанов, морей и в крупных речных долинах, не покрытых растительностью, а местами в полупустынях и даже в умеренном климате.

Геологическая работа ветра состоит из следующих видов: 1) дефляции (лат. «дефляцио» - выдувание и развевание); 2) корразии (лат. «корразио» - обтачивание, соскабливание); 3) переноса и 4) аккумуляции (лат. «аккумуляцио» - накопление).

Все указанные стороны работы ветра в природных условиях тесно связаны друг с другом, проявляются одновременно и представляют единый сложный процесс. Можно говорить лишь о том, что в одних местах преобладают одни виды процесса, в других - иные. Все процессы, обусловленные деятельностью ветра, создаваемые ими формы рельефа и отложения называют эоловыми (Эол в древнегреческой мифологии - бог ветров).

Дефляция - выдувание и развевание ветром рыхлых частиц горных пород (главным образом песчаных и пылеватых). Известный исследователь пустынь Б. А. Федорович выделяет два вида дефляции: площадную и локальную.

Площадная дефляция наблюдается как в пределах коренных скальных пород, подверженных интенсивным процессам выветривания, так и особенно на поверхностях, сложенных речными, морскими, водно-ледниковыми песками

и другими рыхлыми отложениями. В твердых трещиноватых скальных горных породах ветер проникает во все трещины и выдувает из них рыхлые продукты выветривания.

Площадная дефляция иногда проявляется в засушливых степных областях различных стран, где периодически возникают сильные иссушающие ветры - "суховеи", которые выдувают распаханную почву, перенося на далекие расстояния большое количество ее частиц.

Локальная дефляция проявляется в отдельных понижениях рельефа. Многие исследователи именно дефляцией объясняют происхождение некоторых крупных глубоких бессточных котловин в пустынях Средней Азии, Аравии и Северной Африки. Одним из примеров является впадина Карагие в Закаспии, дно которой опущено на 132 м ниже уровня моря. На дне некоторых котловин в верхнем слое пород часто происходит накопление солей. Подземные и поверхностные воды испаряются, а соли, кристаллизация которых разрывает и разрыхляет породу, превращая ее в тонкую солончаковую пыль, остаются. В жаркие безветренные дни над солончаками днищ котловин вследствие разницы в нагреве различных элементов поверхности часто возникают мощные турбулентные потоки восходящего воздуха (штопоробразные смерчи). Восходящие токи и ветер в течение лета могут вынести весь разрыхленный материал. Ежегодное повторение указанного процесса приводит к дальнейшему углублению дефляционных впадин, или котловин выдувания. Локальная дефляция проявляется также в отдельных щелях и бороздах в горных породах (бороздовая дефляция).

Коррозия представляет механическую обработку обнаженных горных пород песчаными частицами, переносимыми ветром, выражающуюся в обтачивании, шлифовании, соскабливании, высверливании и т. п. Этот процесс сходен с применяемым в практике методом чистки каменных зданий искусственными песчаными струями. Песчаные частицы поднимаются ветром на различную высоту, но наибольшая их концентрация в нижних приземных частях воздушного потока (до 1,0-2,0 м).

Таким образом, взаимодействие дефляции, переноса песка, коррозии и выветривания придают скалам в пустынях своеобразные очертания. Некоторые из них грибообразной формы (при изменяющихся направлениях ветра), другие сходны с подточенными столбами или обелисками. При преобладании ветров одного направления в основании скальных выступов образуются различные корразионно-дефляционные ниши, небольшие пещеры, котлообразные и другие формы.

ПЕРЕНОС При движении ветер захватывает песчаные и пылеватые частицы и переносит их на различные расстояния. Перенос осуществляется или скачкообразно, или перекачиванием их по дну, или во взвешенном состоянии.

При своем приземлении частицы ударяют и нарушают другие песчаные зерна, которые вовлекаются в скачкообразное движение, или сальтацию (лат. "сальтацио" - скачок). Так происходит непрерывный процесс перемещения множества песчаных зерен. Пески в пустынях переносятся на расстояния от нескольких километров до десятков, а иногда и первых сотен километров. В ходе перемещения и соударения сами песчаные зерна подвергаются взаимному истиранию и дроблению.

Пылеватый материал алевритовой размерности может подниматься в воздухе на высоту до 3-4 км и более и переноситься во взвешенном состоянии на сотни и тысячи километров. Известно, что пыль пустынь Африки сильными пассатными ветрами переносится на запад на расстояния более 2000-2500 км и составляет местами заметную примесь в осадках Атлантического океана. Описаны случаи, когда эоловая пыль Сахары достигала различных стран Западной Европы.

АККУМУЛЯЦИЯ И ЭОЛОВЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ

На значительных пространствах пустынь одновременно с дефляцией и переносом происходит аккумуляция, и образуются эоловые отложения.

Среди них выделяются два основных генетических типа - эоловые пески и эоловые лёссы.

Эоловые пески отличаются значительной отсортированностью, хорошей окатанностью, матовой поверхностью зерен. Это преимущественно мелкозернистые пески, размер зерен которых составляет 0,25-0,1 мм.

Самым распространенным в них минералом является кварц, но встречаются и другие устойчивые минералы (полевые шпаты и др.). Менее стойкие минералы, такие, как слюды, в процессе эоловой переработки истираются и выносятся. Цвет эоловых песков различный, чаще всего светло-желтый, бывает желтовато-коричневый, а иногда и красноватый (при дефляции красноземных кор выветривания).

Эоловый лёсс (нем. "лёсс" - желтозем) представляет своеобразный генетический тип континентальных отложений. Он образуется при накоплении взвешенных пылеватых частиц, выносимых ветром за пределы пустынь и в их краевые части, и в горные области. Мощность лёссов колеблется от нескольких до 100 м и более. Особенно большие мощности отмечаются в Китае, образование которых некоторыми исследователями предполагается за счет выноса пылевого материала из пустынь Центральной Азии.

Одна из крупных рек Китая "желтая" река (Хуанхэ) получила название вследствие того, что она размывает и переносит во взвешенном состоянии большое количество лёссового материала.

Формы эолового песчаного рельефа. Закономерности формирования песчаного рельефа в пустынях тесным образом связаны с режимом ветров, дина-

микой атмосферы и ее циркуляцией, мощностью песков и степенью их оголенности.

Барханами называют обычно асимметричные серповидные песчаные формы, напоминающие полулуние и располагающиеся перпендикулярно господствующему направлению ветра.

Продольные песчаные гряды распространены во всех пустынях мира, всюду, где господствуют ветры одного или близких направлений и где им нет никаких тормозящих препятствий.

Для эоловых песков характерны специфические формы рельефа. Это знаки ряби разного масштаба. Эоловая рябь – обычная текстура поверхности слоев, которая достигает 1 м в высоту. Более крупные аккумулятивные формы – дюны, их высота составляет 30–50 м. Гигантские дюны (драа) достигают 300 м в высоту.

В случае интерференции ветров разных направлений и наличия большого количества песка возникают пирамидальные дюны. Это холмы высотой до сотни метров с острой вершиной и несколькими радиально расходящимися гребнями.

Песчаные бугры образуются наподобие снежных бугров при хаотичном движении ветра путем накопления материала возле различных препятствий.

Дюны – удлиненные асимметричные холмы с округлыми вершинами и более пологими наветренными склонами. Дюны представляют собой на первых этапах развития формы, поперечные господствующему направлению ветра, образующиеся на берегах озер и морей. Дюна не остается на месте, а постепенно передвигается под воздействием ветра в глубь материка. По мере того, как дюна перемещается от морского берега, на ее месте возникает другая такая же дюна, после перемещения которой начинает формироваться новая. Так образуются цепи параллельных дюн, следующих одна за другой. Высота дюн колеблется от первых метров до 50–60 м.

Форма дюн зависит от характера поверхности, на которой они образуются (гладкая, закрепленная или не закрепленная растительностью и т. д.), от количества песчаного материала, от скорости ветра и от постоянства его направления.

Самым распространенным видом дюн для внутриматериковых пустынь являются барханы. Барханы расположены поперек направления господствующих ветров и в плане имеют форму полумесяца. Наветренный склон характеризуется пологим углом наклона и выпуклой поверхностью так, что «рога» полумесяца ориентированы по направлению ветра, а внутренняя вогнутая часть полумесяца представляет собой крутой подветренный склон бархана. Высота барханов может превышать 30 м, а расстояние между рогами достигает 350 м. Барханы образуются на плоской твердой поверхности, где поступление новых пор-

ций песка ограничено, а постоянные ветры имеют сравнительно небольшую скорость.

На песчаных побережьях морей (юг Балтийского моря) широко распространены параболические дюны. Они напоминают по форме барханы, но в отличие от последних откос осыпания у них не вогнутый, а выпуклый. Дюны образуются на месте песчаного берегового вала с волнистой поверхностью за счет дневного бриза, который сдувает с повышений подсохший песок в сторону от берега. При этом сначала образуется «песчаный язык», потом гребень с крутым подветренным склоном, а «рога» дюны отстают, закрепляются растительностью, и она приобретает форму серпа. Прибрежные дюны в настоящее время закреплены сосновыми лесами.

Геологическая деятельность поверхностных текучих вод. Под текучими водами понимаются все воды поверхностного стока на суше от струй, возникающих при выпадении дождя и таяния снега, до самых крупных рек.

Все воды, стекающие по поверхности Земли, производят различного вида работу. Чем больше масса воды и скорость течения, тем наибольший эффект ее деятельности.

Как и в других экзогенных процессах, в деятельности текучих вод могут быть выделены три составляющие: 1) разрушение, 2) перенос и 3) отложение, или аккумуляция, переносимого материала на путях переноса.

По характеру и результатам деятельности можно выделить три вида поверхностного стока вод: 1) плоскостной безрусловой склоновый сток; 2) сток временных русловых потоков; 3) сток постоянных водотоков - рек.

1. ПЛОСКОСТНОЙ СКЛОНОВЫЙ СТОК

В периоды выпадения дождей и таяния снега вода стекает по склонам в виде сплошной пелены или сети отдельных струек. Они захватывают мелкоземистый материал, слагающий склоны, переносят его вниз. У подошвы течение воды замедляется, и переносимый материал откладывается как непосредственно у подножья, так и в прилегающей части склона.

Отложения, образованные склоновым стоком, называются делювиальными отложениями или делювием (лат. "делуо" - смываю). Наиболее характерны довольно протяженные делювиальные шлейфы в пределах равнинных рек степных районов умеренного пояса.

Наибольшая мощность делювия (до 15-20 м) наблюдается у основания склона, а вверх по склону она постепенно уменьшается. Продолжающийся процесс плоскостного смыва приводят к выколаживанию склонов. В высоких горах типичных делювиальных шлейфов нет в связи с широким развитием гравитационных процессов на склонах. В этих условиях формируются смешанные коллювиально-делювиальные образования.

2. ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ВРЕМЕННЫХ РУСЛОВЫХ ПОТОКОВ

Среди временных русловых потоков выделяются 1) временные потоки оврагов и 2) временные горные потоки.

1. Если в пределах склона или его бровки имеются различные естественные или искусственные неровности, понижения, то при выпадении дождя или таянии снега в них происходит слияние отдельных стекающих струй воды, которые разрушают указанные части склона и на их месте образуются различные промоины, рытвины. Так начинается на склонах процесс размыва, или эрозии – это начало оврагообразования.

В последующем в таких рытвинах периодически концентрируется еще большее количество воды, и они начинают расти в глубину, ширину, вниз и вверх по склону. По мере дальнейшего углубления профиль оврага постепенно выравнивается, его устье достигает основания, куда впадает поток.

Уровень реки или какого-либо бассейна, куда входит овраг, называется базисом эрозии.

В вершине оврага образуется перепад. В результате возникающие водотоки обрушиваются в вершину оврага водопадом или образуют здесь стремнины с быстрым течением. Это способствует интенсивной эрозии и постепенному продвижению вершины оврага все дальше в глубь водораздельного плато.

Такой процесс роста вверх по течению потока называется регрессивной (лат. "регрессус" - движение назад) или попятной эрозией.

По мере продвижения вершины растущего оврага на его склонах образуются промоины или рытвины, которые также превращаются в овраги.

Эти ответвления – отводжки от главного оврага растут попятно, следуя по течению сливающихся струй воды. В результате возникает сложная ветвящаяся овражная система.

Наиболее глубокая и разветвленная сеть оврагов образуется в районах развития легко размываемых горных пород - лёссовидных суглинков, песков, алевролитов, глин. Пример тому Средне-Русская возвышенность, представляющая эрозионно-денудационную плоскую равнину, расчлененную густой сетью оврагов. Оврагообразованию способствуют не только природные факторы, но и необдуманная деятельность человека (вырубка леса, распахивание, заложение грунтовых дорог и канав в направлении вниз по склону и др.).

Для борьбы с оврагами применяются различные методы, направленные на предотвращение попятной эрозии и укрепление склонов.

Аккумулятивная деятельность временных водотоков проявляется в низовьях оврага и особенно при его выходе в долину реки или в другие водоемы, где местами образуется конус выноса, сложенный различным несортированным обломочным материалом местных пород.

Местами в областях лесостепи и степи наблюдаются оврагоподобные формы с расширенным дном и мягкими пологими склонами, покрытыми плащом делювия и в ряде случаев растительностью. Такие формы называют балками.

2. Временные горные потоки развиваются несколько differently от оврагов. Их верховья расположены в верхней части горных склонов и представлены системой сходящихся рытвин и промоин, образующих вместе водосборный бассейн. Ниже по склону вода движется в едином русле. Этот участок горного потока называется каналом стока.

В периоды сильных дождей и интенсивного таяния снега временные горные потоки движутся с большой скоростью и захватывают значительное количество различного обломочного материала. При выходе на предгорную равнину скорость движения уменьшается, горные потоки ветвятся на многочисленные рукава, в результате чего весь принесенный обломочный материал откладывается. Так образуется конус выноса временного горного потока в виде полукруга. В конусах выноса временных горных потоков местами наблюдаются дифференциация принесенного материала и зональность его распространения.

Отложения конусов выноса временных горных потоков были названы пролювием (лат. "пролюо" - промываю).

В горных долинах периодически возникают мощные грязекаменные потоки, несущиеся с большой скоростью и обладающие огромной разрушительной силой. Они содержат до 70-80% обломочного материала от их общего объема. Грязекаменные потоки называют селями в Средней Азии и на Кавказе, мурами - в Альпах. Нередко они носят катастрофический разрушительный характер.

3. ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ РЕК

Мощные водные потоки рек, расчлняющие огромные пространства суши, производят значительную 1. эрозионную, 2. переносную и 3. аккумулятивную деятельность.

Интенсивность работы рек определяется их живой силой, т. е. кинетической энергией, равной $mv^2/2$, где m - масса воды; v - скорость течения.

Скорость течения зависит от уклона продольного профиля.

Под уклоном понимается величина перепада высот, деленная на расстояние по горизонтали, на котором наблюдается этот перепад.

На интенсивности процессов в речных долинах сказывается турбулентный характер течения. Наибольшие скорости наблюдаются в приповерхностной части потока на стрежне, меньше у берегов и в придонной части, где поток испытывает трение о породы, слагающие русло. Вдоль реки скорость течения также меняется, что связано с наличием порогов и плёсов, нарушающих равномерность уклона.

В зависимости от характера и интенсивности питания изменяются режим рек, количество и уровень воды, а также скорость ее течения. В соответствии с изменением уровня воды в реке говорят о

высоком горизонте, соответствующем половодью,
низком меженном горизонте, или межени, наступающей после спада половодья.

в реках наблюдаются периодические паводки, соответствующие кратковременному повышению уровня воды от затяжных дождей.

Речная эрозия. Выделяют два типа эрозии:

1) донная, или глубинная, направленная на врезание речного потока в глубину;

2) боковая, ведущая к подмыву берегов и в целом к расширению долины.

В начальных стадиях развития реки преобладает донная эрозия, которая стремится выработать профиль равновесия применительно к базису эрозии - уровню бассейна, куда она впадает. Базис эрозии определяет развитие всей речной системы - главной реки с ее притоками разных порядков.

Поверхность, на уровне которой водный поток теряет свою силу и ниже которой не может углублять своё ложе, называется базисом эрозии.

За главный базис эрозии условно принимается уровень Мирового океана.

Помимо главного, выделяются региональные и локальные базисы эрозии.

Региональными базисами эрозии являются уровень моря или озера, в которое впадает река, уровень крупных низменностей и пр.

Локальным базисом может являться любая точка русла – водопады, пороги, устья притоков и др.; эти базисы постоянно изменяются и определяющими эрозию на расположенном выше по течению участке.

Первоначальный профиль, на котором закладывается река, обычно характеризуется различными неровностями, созданными до образования долины. Такие неровности могут быть обусловлены различными факторами: наличием выходов в русле реки неоднородных по устойчивости горных пород (литологический фактор); озера на пути движения реки (климатический фактор); структурные формы - различные складки, разрывы, их сочетание (тектонический фактор) и другие формы. В процессе регрессивной эрозии река, углубляя свое русло, стремится преодолеть различные неровности, которые со временем сглаживаются, и постепенно вырабатывается более плавная (вогнутая) кривая, или профиль равновесия реки.

Боковая эрозия. По мере выработки профиля равновесия и уменьшения уклонов русла донная эрозия постепенно ослабевает и все больше начинает сказываться боковая эрозия, направленная на подмыв берегов и расширение долины.

Возникающие вихревые движения воды в придонном слое способствуют активному размыву дна в стрежневой части русла, и часть донных наносов выносятся к берегу.

Накопление наносов приводит к искажению формы поперечного сечения русла, нарушается прямолинейность потока, в результате чего стрежень потока смещается к одному из берегов. Начинается усиленный подмыв одного берега и накопление наносов на другом, что вызывает образование изгиба реки. Такие первичные изгибы, постепенно развиваясь, превращаются в излучины (меандры), играющие большую роль в формировании речных долин.

Перенос. Реки переносят большое количество обломочного материала различной размерности - от тонких илистых частиц и песка до крупных обломков.

Влекомые по дну и взвешенные переносимые материалы называют твердым стоком рек.

Помимо обломочного материала реки переносят и растворенные минеральные соединения (ионный сток). Часть этих веществ возникает в результате растворяющей деятельности речных вод, другая часть попадает в реки вместе с подземными водами. В речных водах гумидных областей преобладают карбонаты Са и Mg, на долю которых приходится около 60% ионного стока. В небольших количествах встречаются соединения Fe и Mn, чаще образующие коллоидные растворы. В речных водах аридных областей помимо карбонатов заметную роль играют хлориды и сульфаты.

Соотношение влекомых, взвешенных и растворенных веществ различно в горных и равнинных реках.

В горных реках наблюдается резкое преобладание взвешенных частиц при близких количествах растворенных веществ и влекомых наносов, представленных преимущественно галечниками, иногда с крупными валунами.

В равнинных реках преобладают растворенные вещества, на втором месте взвеси и сравнительно малое число влекомых, представленных преимущественно песками с примесью гравия.

Аккумуляция. Наряду с эрозией и переносом различного материала происходит и его аккумуляция (отложение). По мере выработки профиля равновесия и расширения долин образуются постоянные отложения, называемые аллювиальными, или аллювием (лат. "аллювио" - нанос, намыв).

Двигаясь по дуге изгиба, вода испытывает воздействие центробежной силы, и стрежень потока прижимается к вогнутому берегу, где вода опускается вниз, вызывая усиленный размыв дна, борта русла и захват обломочного материала. От подмываемого крутого берега придонные токи воды направляются к противоположному выпуклому берегу, где начинается интенсивная аккумуля-

ция и образуется так называемая прирусловая отмель, частично обнажающаяся при спаде воды во время межени. Это начальный этап формирования аллювия.

В результате последовательного развития речной долины происходят значительное расширение площади русловых аллювиальных отложений и образование низкого намываемого берега, который начинает заливаться только в половодье.

Такой низкий участок долины, сложенный аллювием, представляет пойму реки - часть долины, возвышающуюся над руслом, называемую также пойменной, луговой или заливной террасой.

Излучины, развиваясь, приобретают значительную кривизну, образуют серию петель, разделенных узкими перешейками. Местами происходит прорыв такого перешейка, и река на таких участках спрямляет свое русло. Осадки, накапливающиеся рядом с главным спрямленным руслом у концов покинутой излучины, заполняют оба ее конца, и она превращается в замкнутое озеро.

Такие озера постепенно заполняются осадками, приносимыми в половодья, зарастают, могут превратиться в болота или в сухие понижения. Отшнурованные от русла реки излучины называют старицами. Излучины развиваются не только в сторону берегов, но и вниз по течению. В результате выступы, сложенные коренными породами, постепенно срезаются, и образуется широкая пойменная терраса со сложным рельефом.

СТРОЕНИЕ ПОЙМ И ФАЦИАЛЬНЫЙ СОСТАВ АЛЛЮВИЯ

Под фацией понимается горная порода (или осадок) определенного состава, отражающая условия ее накопления.

В аллювиальных отложениях пойм равнинных рек четко выделяются три фации:

1) русловая; 2) пойменная и 3) старичная.

Русловая фация формируется в процессе нарастания и расширения прирусловых отмелей при миграции русла в сторону подмываемого берега и представлена песками различного гранулометрического состава, в основании песками с гравием и галькой. Пойменная фация формируется в периоды половодий, когда на поверхность поймы выпадает преимущественно взвешенный тонкий материал. Поэтому пойменный аллювий представлен преимущественно супесчано-суглинистым материалом. Старичный аллювий образуется в отшнурованных излучинах, превращенных в озера, где накапливаются супеси, суглинки, местами глины, богатые органическим веществом, а при заболачивании - болотные отложения.

Аллювиальные отложения пойм горных рек существенно отличаются от равнинных.

Вследствие значительных скоростей движения горных рек песчаные и глинистые частицы почти не оседают на дно, а переносятся к устьевым частям.

Непосредственно же в долине реки откладывается более грубый материал - гравий, галечники с отдельными валунами. Эта русловая фация почти целиком слагает пойму горной долины. Пойменная фация слабо выражена и развита не повсеместно, встречается на расширенных участках долины, где представлена грубыми песками и супесями и часто находится в смеси с пролювиальными отложениями конусов выноса и коллювиальными образованиями. Для горных рек выделяют еще фацию подпруживания, формирующуюся перед различными перемычками, перегораживающими горные долины, где создаются спокойные условия для осаждения влекомых и мелких взвешенных наносов.

ЭРОЗИОННЫЕ ВРЕЗЫ И НАДПОЙМЕННЫЕ РЕЧНЫЕ ТЕРРАСЫ

В каждой долине горных и равнинных рек наблюдается серия надпойменных террас, возвышающихся над поймой и отделенных друг от друга уступами. Такие надпойменные террасы придают речной долине наиболее сложный ступенчатый террасированный поперечный профиль. В пределах равнинных рек обычно наблюдается до 3-5 надпойменных террас, в горных районах - до 8-10 и более.

У каждой террасы различают следующие элементы: террасовидную площадку, уступ, или склон, бровку террасы и тыловой шов, где терраса сочленяется со следующей более высокой террасой или с коренным склоном, в который врезана долина.

Формирование террас в пределах одной речной долины может происходить неоднократно, что приводит к образованию лестницы надпойменных террас, возвышающихся друг над другом в борту долины (террасы не всегда явно выражены в рельефе и их выявление требует специальных геоморфологических исследований).

Самая высокая терраса - наиболее древняя, самая низкая - наиболее молодая (первая надпойменная терраса – террасам присваиваются номера в соответствии с их расположением снизу вверх). Высотой террасы называют превышение её поверхности над меженным уровнем воды в реке.

Среди речных террас различают

1. Эрозионные (скульптурные террасы размыва),
2. Эрозионно-аккумулятивные (цокольные),
3. Аккумулятивные.

Эрозионные террасы встречаются в молодых горных сооружениях, где имеют место импульсы нарастания и спада тектонических движений, с которыми связаны изменения уклонов продольного профиля реки, вызывающих глубинную эрозию, а в конце цикла и боковую. В этих террасах почти вся террасовидная площадка и уступ до нижерасположенной площадки слагаются коренными породами и лишь местами на их поверхности встречаются отдельные маломощные галечники.

Аккумулятивные террасы характеризуются тем, что их площадки и уступы полностью сложены аллювиальными отложениями. Среди них по строению и соотношению разновозрастных аллювиальных комплексов выделяют наложенные и вложенные. Аккумулятивные террасы имеют широкое распространение в пределах низменных платформенных равнин, а также в межгорных и предгорных впадинах.

Эрозионно-аккумулятивные, или цокольные, террасы характеризуются тем, что в них нижняя часть уступа (цоколь) сложена коренными породами, а верхняя часть уступа - аллювиальными отложениями. Такие террасы приурочены чаще к переходным зонам от поднятий к погружениям, но встречаются местами и в пределах равнин.

С эрозионной и аккумулятивной деятельностью рек связано формирование особого типа месторождений ценнейших полезных ископаемых, называемых аллювиальными россыпными месторождениями. Если размыву рек подвергаются коренные месторождения или горные породы, содержащие тяжелые и химически стойкие минералы в рассеянном состоянии, то они переносятся на то или иное расстояние и откладываются вместе с другими аллювиальными отложениями. В процессе переноса и переотложения продукты размыва сортируются по плотности. Более легкие минералы истираются и выносятся реками. В россыпях же концентрируются минералы с высокой плотностью. Наиболее тяжелые минералы выпадают ранее, а менее тяжелые переносятся дальше. В первую очередь выпадают золото и платина, затем такие минералы, как вольфрамит, касситерит, магнетит, рутил, гранат, алмаз. Эти тяжелые и устойчивые минералы и образуют аллювиальные россыпи - промышленные скопления полезных ископаемых.

Геологическая деятельность ледников. Ледники - это естественные массы кристаллического льда (вверху - фирна), находящиеся на поверхности Земли в результате накопления и последующего преобразования твердых атмосферных осадков (снега).

Необходимым условием образования ледников является сочетание низких температур воздуха с большим количеством твердых атмосферных осадков, что имеет место в холодных странах высоких широт и в вершинных частях гор.

Зарождаются ледники выше снеговой границы, где располагаются их области питания (аккумуляции).

При движении ледники выходят ниже снеговой границы в область абляции или область разгрузки (лат. "абляцио" - отнятие, снос), где происходит постепенное уменьшение массы ледника путем таяния, испарения и механического разрушения.

В зависимости от изменяющихся во времени соотношений аккумуляции и абляции происходит осцилляция (лат. "осцилляцио" - колебание) края ледника.

В случае существенного усиления питания и превышения его над таянием, край ледника продвигается вперед - ледник наступает, при обратном соотношении ледник отступает. При длительно сохраняющемся соотношении питания и абляции край ледника занимает стационарное положение. Современные ледники покрывают площадь свыше 16 млн. км, или около 11% суши.

Выделяются три основных типа ледников: 1) материковые, или покровные; 2) горные; 3) промежуточные, или смешанные. Классическими примерами ныне существующих материковых ледников служат покровы Антарктиды и Гренландии.

Антарктида занимает площадь около 15 млн. км², из них около 13,2 млн. км² покрыто льдом. Ледяной покров образует огромное плато высотой до 4000 м. Ледник покрывает весь материк, заполняет берег и распространяется в моря, образуя огромные массы так называемого шельфового льда.

В отдельных местах окраинных зон Антарктиды, там, где рельеф расчленен, ледниковый покров распадается на отдельные выводные потоки, движущиеся или в скалистых, или в ледяных склонах. От краев выводных и шельфовых ледников откалываются огромные ледяные глыбы - айсберги, некоторые из них достигают 50-100 км².

Гренландский ледник. Гренландия занимает немногим более 2 млн. км², из которых около 80% покрыты материковым ледником. Центральная часть ледникового плато (области питания) характеризуется абсолютными высотами около 3000 м, к краевым частям высота снижается до тысячи и нескольких сотен метров. Максимальная мощность ледникового покрова Гренландии по сейсмическим данным около 3400 м, средняя - около 1500 м. В гористых окраинах Гренландии наблюдаются долинные выводные ледники, некоторые из них, наиболее мощные, выходят в море на различные расстояния, находясь на плаву. Выступы и гребни гор известны под эскимосским названием «нунатаки».

Горные ледники различны по условиям питания и стока. Большое распространение имеют горные ледники альпийского типа.

В верхней склоновой части гор выше снеговой границы располагаются области питания (фирновые бассейны). Областями их стока или разгрузки являются горные долины. Горные долинные ледники бывают простыми, обособленными друг от друга, каждый с четко выраженной областью питания и собственной областью стока. Но в ряде случаев наблюдаются сложные ледники, выходящие из различных областей питания, сливающиеся друг с другом в области стока, образуя единый поток, представляющий настоящую реку льда с притоками, заполняющую на многие километры горную долину.

К промежуточному типу относятся так называемые предгорные и плоскогорные ледники. Предгорные ледники получили название по расположению у подножья гор. Они образуются в результате слияния многочисленных горных

ледников, выходящих на предгорную равнину, растекающихся в стороны и вперед и образующих крупный ледниковый шлейф, покрывающий большие пространства (Скандинавский ледник, ледниковый покров Шпицбергена, Исландии, крупнейший ледник Маляспина на Тихоокеанском побережье Аляски).

ЛЕДНИКОВОЕ РАЗРУШЕНИЕ И ОСАДКООБРАЗОВАНИЕ

При движении ледников осуществляется ряд взаимосвязанных геологических процессов:

- разрушение горных пород подледного ложа с образованием различного по форме и размеру обломочного материала (от тонких песчаных частиц до крупных валунов);
- перенос обломков пород на поверхности и внутри ледников, а также вмержших в придонные части льда или перемещаемых волочением по дну;
- аккумуляция обломочного материала, имеющая место, как в процессе движения ледника, так и при таянии.

Разрушительная работа ледников называется экзарацией (от лат. "экзарацио" - выпаживание). Происходит захват и выламывание различных блоков горных пород, их дробление, истачивание.

Ледники, насыщенные обломочным материалом, вмержшим в придонные части льда, при движении по скальным породам оставляют на их поверхности различные штрихи, царапины, борозды. Скальные асимметричные выступы, пологий и оглаженный, исштрихованный склон которых расположен с той стороны, откуда двигался ледник, а крутой шероховатый и зазубренный - с противоположной стороны называют «бараньи лбы», а сочетание нескольких выступов – «курчавые скалы».

С деятельностью ледников связано образование цирков в вершинной части гор и специфических форм ледниковых долин-отрогов (нем. "трог" - корыто), развивающихся по эрозионным горным долинам. Ледники, двигаясь по этим долинам, производят интенсивную экзарацию их бортовых частей и ложа. В результате долина расширяется, углубляется и принимает U-образную форму с плоским дном. Продольный профиль троговой долины обычно характеризуется значительной неровностью, наличием поперечных скальных выступов, называемых ригелями, и ванн ледникового выпаживания, что связано с различной сопротивляемостью горных пород ледниковой экзарации.

ПЕРЕНОСНАЯ И АККУМУЛЯТИВНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЛЕДНИКОВ

Весь разнородный обломочный материал - от тонких глинистых частиц до крупных валунов и глыб, как переносимый ледниками и своим движением, так и отложенный, называют **мореной** (гляциальными отложениями). Существует два типа морен - *движущиеся и отложенные*.

Движущиеся морены имеют различное расположение. В горных ледниках выделяются: 1) поверхностные морены - боковые по краям долинного ледника, образующиеся за счет выветривания и гравитационных процессов со склонов гор (осыпей, оползней, обвалов), и срединные, возникающие в результате объединения боковых морен при слиянии ледников;

2) внутренние морены могут образовываться как в областях питания, так и в результате проникновения обломочного материала по трещинам;

3) донные морены образуются за счет экзарации и захвата продуктов выветривания.

В материковых ледниках главное значение имеют донные движущиеся морены и внутренние, возникающие в результате выдавливания обломочного материала по трещинам, образующимся при пересечении ледником возвышенностей рельефа.

Отложенные морены. Среди отложенных выделяются три типа морен: 1) основная (донная), 2) абляционная, 3) конечная (краевая).

Иногда при движении ледника образуются отторженцы глыб и валунов горных пород, перенесенных льдом на различные расстояния от их коренного залегания. Примером тому являются глыбы и валуны гранитов, гнейсов и других пород, которые разносились на значительные пространства Восточно-Европейской платформы из Скандинавии - центра четвертичных оледенений.

Абляционная морена чаще образуется ближе к периферической части ледника в стадии его деградации. При таянии ледника имеющийся внутри него и на поверхности обломочный материал осаждается, накладываясь на основную морену.

Конечные (краевые) морены. При длительном стационарном положении края ледника наблюдается динамическое равновесие между поступающим льдом и его таянием. В этих условиях у края ледяного покрова будет накапливаться приносимый ледниками обломочный материал, формируя конечную, или краевую, морену.

С основными моренами четвертичных оледенений связаны различные формы рельефа. Широко развит холмисто-западинный и холмисто-увалистый моренный рельеф, где холмы различных очертаний и размеров разделяются западинными формами, местами сильно заболоченными или занятыми озерами. Встречаются и довольно обширные слабо волнистые моренные равнины.

К особому виду относятся так называемые друмлинные поля (ирл. "друмлин" - холм). Друмлины представляют собой продолговатые овальные холмы, длинная ось которых совпадает с направлением движения ледника. Их длина от сотен метров до 1-2 км, ширина 100-200 м (иногда до 500 м), высота 15-30 м (иногда до 50 м). Указанные соотношения изменяются от места к месту. Иногда это сильно вытянутые формы, в других случаях - округлые. Часть друмлинов сла-

гается целиком моренами, в других наблюдается ядро из коренных скальных пород. Они представляют собой подледниковые образования в условиях значительного динамического воздействия движущегося льда.

ФЛЮВИОГЛЯЦИАЛЬНЫЕ, ИЛИ ВОДНО-ЛЕДНИКОВЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ

С деятельностью ледников тесно связана работа талых ледниковых вод, представляющая одну из сторон единого сложного природного процесса. Выделяют два типа флювиогляциальных (лат. "флювиос" - река) отложений: внутриледниковый (интрагляциальный) и приледниковый (перигляциальный). Внутриледниковые отложения после таяния ледника образуют на поверхности специфические формы рельефа – озы, камы и камовые террасы.

Озы – крутосклонные валообразные гряды, напоминающие железнодорожные насыпи; они вытянуты по направлению движения ледника и сложены хорошо промытыми слоистыми песчано-гравийно-галечными отложениями с включением валунов. Высота таких гряд от 10 до 30 м, иногда до 50 м и выше, а протяженность от сотен метров до десятков километров. Одни из них имеют более или менее прямолинейные очертания, другие характеризуются извилистостью. Особенно большое развитие имеют озы в Финляндии, а также в Швеции. Они встречаются и южнее: в Прибалтике, в Белоруссии и других районах.

Камы и камовые террасы (нем. "камм" - гребень). Камы представляют собой крутосклонные холмы с выположенными вершинами. Высота их от нескольких до 20 м и более. Камовые холмы разделены понижениями, иногда в виде замкнутых котловин, которые бывают заболочены или заняты бессточными озерами. Камы образованы отсортированными отложениями - гравием, песками и супесями с горизонтальной и диагональной слоистостью озерного типа, в которых встречаются валуны и отдельные линзы морен, а местами ленточные глины.

Помимо холмов, на склонах западин образовывались террасовидные уступы – камовые террасы, располагающиеся на различных уровнях, что связано с неравномерным таянием мертвого льда. Камовый рельеф встречается в Карелии, в Прибалтике, в северных районах Западной Европы.

ОТЛОЖЕНИЯ В ПЕРИГЛЯЦИАЛЬНЫХ ОБЛАСТЯХ

Среди приледниковых (перигляциальных) отложений выделяют: 1) зандры (нем. "зандер" - песок); 2) лимногляциальные (греч. "лимнэ" - озеро), или озерноледниковые; 3) лёсс.

Зандры и создаваемые ими зандровые поля образуются за грядами конечных морен и представляют отложения талых ледниковых вод, растекающихся на большие равнинные пространства. При этом в отложениях наблюдается дифференциация материала. Более грубые осадки - разнoзернистые пески с гравием и галькой - откладываются обычно близ внешнего края конечных мо-

рен, далее на огромных площадях накапливаются более однородные пески, а в их краевых частях местами появляются тонкозернистые пески и супеси, что связано с уменьшающейся силой потока. Примерами крупных зандровых полей являются Мещерское, Припятское, Вятское полесья и участки Западно-Сибирской низменности.

Лимногляциальные, или озерноледниковые, отложения образовались в приледниковых озерных бассейнах. В равнинных районах четвертичных материковых оледенений такие озера своим возникновением обязаны подпруживающему действию выходящих подледниковых потоков возвышенностями рельефа или грядами конечных морен, а также подпруживанию стока рек.

В краевых частях приледниковых озер накапливаются песчаные осадки, местами с включением гравия и гальки, а в удалении и на большей глубине шире распространены осадки ленточного типа - пески, алевроиты и глины. Подсчет таких годовичных лент в осадках дает возможность судить об их возрасте (в годах и столетиях), длительности накопления, времени существования озер и скорости отступления ледника. По имеющимся данным, основанным на анализе ленточных глин, средняя скорость отступления последнего ледника в Швеции составляла 325 м/год, в Финляндии - 260 м/год.

Лёссы. Для перигляциальных областей типично широкое развитие лёссов и лёссовидных суглинков, развитых на юге европейской части РФ, в Западно-Сибирской низменности, в Западной Европе и Америке. В этих областях они носят покровный характер, образуют чехол на водоразделах и их склонах, а также на надпойменных речных террасах. До сих пор нет единства мнений в отношении генезиса лёссов. Многие исследователи принимают концепцию эолового происхождения. Массы воздуха, спускавшиеся с ледника, нагревались при падении, подходили к поверхности Земли в приледниковых районах теплыми и сухими и развеивали ледниковые, водно-ледниковые, речные и другие отложения, унося и откладывая тонкую пыль, скопления которой и образовывали лёсс.

Геологические процессы в областях распространения многолетнемёрзлых горных пород.

Поверхностные слои почв и грунтов подвергаются сезонному промерзанию зимой и оттаиванию в весенне-летнее время. Закономерности промерзания и оттаивания и температурный режим этих слоёв определяются условиями теплообмена на поверхности Земли и составом пород и их влажностью. Верхний слой периодического промерзания и оттаивания отличается большой динамичностью и называется деятельным слоем. Ниже его развиты многолетнемёрзлые горные породы (ММП).

Зону распространения ММП называют мёрзлой зоной литосферы или криолитозоной. В МГУ выделили две криолитозоны:

Субаэральная (субконтинентальная), развитая на континенте.

Субмаринная, охватывающая шельфовые области, примыкающие к суше северных морей и Северного Ледовитого океана. Наиболее распространённым является субаэральный тип криолитозоны и охватывает север европейской части России, Западную и Среднюю Сибирь, Северо-Восток и Дальний Восток, Прибайкалье и Забайкалье, а также высокогорные районы.

Подземные льды криолитозоны Подземными льдами называют все виды льда в мёрзлых породах вне зависимости от их образования, размеров и условий залегания.

Льды, формирующиеся в горных породах, подразделяются на четыре группы:

Погребённый лёд, образующийся при захоронении снежников и подземных льдов.

Повторно-жильный лёд, образующийся при неоднократном заполнении водой или снегом морозобойных трещин, захватывающих как деятельный слой, так и ММП.

Инъекционный лёд, возникающий в результате замерзания подземной воды, внедряющейся под напором в толщу мёрзлых дисперсных пород.

Конституционный лёд, образующийся при промерзании влажных дисперсных пород.

Подземные воды криолитозоны. Выделяют четыре типа подземных вод криолитозоны:

Надмерзлотные воды сезонно-талого слоя – образуются при оттаивании верхней части пород в летне-осеннее время. Основное питание происходит за счёт атмосферных осадков.

К надмарзлотным водам несквозных таликов (почвы или породы, имеющие положительную температуру, носят в области вечной мерзлоты название таликов) относятся подозёрные, подрусловые и прируеловые пойменные несквозные талики, существующие благодаря отепляющему воздействию водоёмов и водотоков.

Воды сквозных таликов. Среди них выделяются: а. Инфильтрационные талики, имеющие нисходящее движение и образующиеся в результате инфильтрации атмосферных осадков; б. Напорноинфильтрационные талики, подземные воды которых обладают напором и характеризуются восходящим направлением движения.

Подмерзлотные воды, располагающиеся непосредственно ниже подошвы многолетнемёрзлых пород, называются контактирующими. Они приурочены к различным по составу и проницаемости горным породам и всегда обладают напором.

Геологическая деятельность океанов и морей. Разрушительная деятельность моря называется абразией. Она связана в основном с волновыми движениями. Штормовые волны ударяют с большой силой о крутой берег. Под их воздействием в основании крутого берегового уступа, где сосредоточена наибольшая сила гидравлического удара, возникает волноотбойная ниша, над которой остаётся карниз нависающих пород. Разрушительная деятельность волн усиливается захватываемыми ими различными обломками горных пород. При дальнейшем разрастании волноприбойной ниши наступает момент, когда устойчивость карниза нарушается и происходит обрушение пород. После обрушения берег вновь представляет собой отвесный обрыв, называемый клиффом. Таким образом, берег отступает в сторону суши, оставляя за собой подводную абразионную террасу, или бенч. Часть обрушившегося обломочного материала выносится на крутой подводный склон за пределы абразионной террасы и откладывается. Так образуются подводные аккумулятивные террасы, сопряжённые с абразионными. Между подводной абразионной террасой и клиффом возникает пляж, представляющий собой гряды или насыпи гальки, гравия, иногда песка. Расширение пляжа способствует уменьшению абразионного воздействия на берег.

В пределах плоских и отмелых берегов процессы развиваются иначе. Энергия волн на широких мелководьях гасится, и происходит перенос и аккумуляция осадков - образование широкой полосы надводной террасы. Такие берега называются аккумулятивными.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ВИДЫ ВОДЫ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ

К подземным водам относятся все природные воды, находящиеся под поверхностью Земли в подвижном состоянии.

Вопросы происхождения, движения, развития и распространения подземных вод являются предметом изучения специальной отрасли геологической науки - гидрогеологии (греч. "гидро" - вода).

Подземные воды тесно связаны с водой атмосферы и наземной гидросферы - океанами, морями, озерами, реками. В природных условиях происходит непрерывное взаимодействие этих вод, так называемый гидрологический круговорот.

Горные породы содержат различные виды воды. Ее состояние и свойства в рыхлых песчаных и глинистых породах впервые были экспериментально изучены советским ученым А. Ф. Лебедевым, выделившим несколько видов воды в горных породах, отличающихся физическими свойствами. Позднее идеи А. Ф. Лебедева получили дальнейшее развитие в работах В. А. Приклонского, А. А. Роде, А. М. Васильева, В. Д. Ломтадзе, Е. М. Сергеева и др. В настоящее время предложено следующее подразделение видов воды в породах:

I. Вода в форме пара.

II. Физически связанная вода: 1) прочносвязанная (гигроскопическая) вода; 2) слабосвязанная (пленочная) вода.

III. Свободная вода: 1) капиллярная вода; 2) гравитационная вода.

IV. Вода в твердом состоянии.

V. Кристаллизационная вода и химически связанная вода.

I. Вода в форме пара содержится в воздухе, заполняющем пустоты и трещины горных пород, свободные от жидкой воды. Парообразная вода находится в динамическом равновесии с другими видами воды и с парами атмосферы.

II. Прочносвязанная (гигроскопическая) вода образуется непосредственно на поверхности частиц горных пород в результате процессов адсорбции молекул воды из паров и прочно удерживается под влиянием электрокинетических и межмолекулярных сил. III. Слабосвязанная (пленочная) вода имеет меньший уровень энергетической связи. Она образует на поверхности частиц вторую пленку поверх прочносвязанной и может передвигаться от участков с большей толщиной пленки к участкам, где толщина меньше.

IV. Свободная вода. Капиллярная вода частично или полностью заполняет тонкие капиллярные поры и трещинки горных пород и удерживается в них силами поверхностного натяжения (капиллярных менисков). Она подразделяется на:

Капиллярно-разобшенная вода называется также водой углов пор или стыковой водой. Она обычно образуется в местах сопряжения частиц породы и суженных угловых участков пор, где прочно удерживается капиллярными силами (капиллярно-неподвижное состояние).

Капиллярно-подвешенная вода образуется в верхней части зоны аэрации, в тонких порах и трещинках почв и пород за счет инфильтрации атмосферных осадков. Капиллярно-подвешенная вода не доходит до уровня подземных вод. Она доступна для растений, но в засушливые годы при длительном испарении может расходоваться почти до полного исчезновения.

Капиллярно-поднятая вода располагается над уровнем первого от поверхности водоносного горизонта (грунтовых вод), где она образует капиллярную кайму.

Количество воды в породе, соответствующее полному насыщению всех капиллярных пор, называют капиллярной влагоемкостью.

V. Гравитационная (свободная) вода образуется в породах при полном насыщении всех пор и трещин водой, что соответствует полной влагоемкости. В этих условиях вода движется под воздействием силы тяжести и напорного градиента в направлении к рекам, морям и другим областям разгрузки. К гравитационной воде относят также инфильтрационную воду зоны аэрации, появля-

ющуюся периодически во время снеготаяния, после выпадения дождей и идущую на пополнение подземных вод.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

По условиям образования выделяются несколько типов подземных вод: 1) инфильтрационные; 2) конденсационные; 3) седиментогенные; 4) магматогенные, или ювенильные; 5) метаморфогенные, или возрожденные.

Инфильтрационные подземные воды образуются из наземных вод атмосферного происхождения. Одним из главных видов питания их является инфильтрация, или просачивание в глубь Земли дождевых и талых атмосферных осадков.

Конденсационные воды образуются в результате конденсации водяных паров воздуха в порах и трещинах горных пород.

Седиментогенные подземные воды (лат. "седиментум" - осадок) - это высокоминерализованные (соленые) подземные воды в глубоких слоях осадочных горных пород. Происхождение таких вод, большинство исследователей связывают с захоронением вод морского генезиса, сильно измененных под влиянием давления и температуры. Такие воды нередко называют "погребенными", или реликтовыми.

Магматогенные подземные воды, образующиеся непосредственно из магмы, Э. Зюссом (1902) были названы ювенильными (лат. "ювенилис" - юный). Поступление таких вод происходит, с одной стороны, при извержении вулканов, с другой - из магматических тел, расположенных на глубине, в которых первоначально может содержаться до 7-10% воды.

Метаморфогенные подземные воды (возрожденные, или дегидратационные) образуются при метаморфизме минеральных масс, содержащих кристаллизационную воду или газово-жидкие включения.

КЛАССИФИКАЦИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

В современной гидрогеологической литературе имеется несколько классификаций подземных вод. Многие исследователи в качестве основного признака используют принадлежность разных видов подземных вод к конкретным зонам:

1) зоне аэрации и 2) зоне насыщения.

В зоне аэрации можно выделить почвенные воды и верховодку.

Почвенные воды распространены в почвенном слое близ поверхности Земли. Их формирование связано с процессами инфильтрации атмосферных осадков, снеготалых вод и конденсации атмосферной влаги. Вид и состояние почвенных вод определяют три основных фактора: общая увлажненность почвы, мощность зоны аэрации и структурно-текстурные особенности почвы.

Верховодка образуется в зоне аэрации, когда инфильтрующаяся вода встречает на своем пути линзы водонепроницаемых пород. Это могут быть

линзы глин среди песчаных отложений. Подземные воды верховодки обычно образуются на сравнительно небольшой глубине и имеют ограниченное по площади распространение. Мощность пород, насыщенных верховодкой, чаще всего бывает до 1 м, редко достигает 2-5 м. Наибольшая мощность отмечается весной в период интенсивного снеготаяния и осенью при обильном выпадении атмосферных осадков. В засушливые годы мощность и количество воды верховодки уменьшаются, а иногда она совсем иссякает.

В зоне насыщения выделяют воды: 1) грунтовые; 2) межпластовые безнапорные; 3) межпластовые напорные, или артезианские.

Под грунтовыми водами понимают свободные (гравитационные) воды первого от поверхности Земли стабильного водоносного горизонта, залегающего на первом от поверхности, выдержанном по площади водоупорном слое. Породы, насыщенные водой, называются водоносным горизонтом. Питание грунтовых вод происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков, местами за счет инфильтрации вод рек и других поверхностных водоемов. По гидравлическим свойствам грунтовые воды безнапорные со свободной поверхностью. Выше уровня грунтовых вод располагается капиллярная кайма.

Межпластовые ненапорные воды. Эти безнапорные воды располагаются в водопроницаемых породах, которые сверху и снизу ограничены водонепроницаемыми пластами. Обычно они встречаются на приподнятых междуречных массивах в условиях расчлененного рельефа (местной гидрографической сети) и выходят в виде нисходящих источников в береговых склонах оврагов, рек и других поверхностных водоемов.

К напорным (артезианским) водам относятся подземные воды, находящиеся в водоносных горизонтах, перекрытых и подстилаемых водоупорными слоями горных пород, и обладающие гидростатическим напором. Артезианские межпластовые напорные воды названы по месту их первоначального нахождения в XII в. во французской провинции Артуа (древнее название Артезия).

КАРСТОВЫЕ ПРОЦЕССЫ

Карст представляет собой процесс растворения, или выщелачивания трещиноватых растворимых горных пород подземными и поверхностными водами, в результате которого образуются отрицательные западинные формы рельефа на поверхности Земли и различные полости, каналы и пещеры в глубине.

Впервые такие широко развитые процессы детально были изучены на побережье Адриатического моря, на плато Карст близ Триеста, откуда и получили свое название. К растворимым породам относятся соли, гипс, известняк, доломит, мел. В соответствии с этим различают соляной, гипсовый и карбонатный карст.

Необходимыми условиями развития карста являются: 1) наличие растворимых пород; 2) трещиноватость пород, обеспечивающая проникновение воды; 3) растворяющая способность воды.

Совокупность геологических явлений, сопровождающихся растворением и размывом горных пород с образованием крупных полостей, называется карстом. Карстующиеся породы – известняки, доломиты, гипсы и ангидриты.

Формы карстового рельефа:

карры – углубления в виде борозд, канавок, образующие карровые поля. Карстовые воронки, колодцы наиболее распространены. В карстовых областях исчезают реки (в Башкирии река Янан – яма 40 км. под землей и 17 км. на поверхности). Воды образуют горизонтальные ходы и пещеры (самая крупная – Мамонтова, в США, штат Кентукки, до 100 км., в России – Четырдаг, Кунгурская пещера).

В результате наполнения поверхностными водами рыхлых пород образуются такие формы как:

оплывины – мелкие смещения, захватывающие только верхнюю выветренную часть склонов. Происходит смещение – суглинки и супеси по глинам и специальным суглинкам.

оползни – смещение горных пород более крупных масштабов по берегам рек, озер и морей, сложенных рыхлыми породами. Слои имеют наклон в сторону откоса. Образованию оползней способствуют дожди, землетрясения, подмывы рекой или прибоем и т. д. (берега Волги, Черного моря и т. д.).

Карст башенный – тип карстового ландшафта, возникающий в гумидном тропическом климате. Для такого ландшафта характерны изолированные известняковые останцы с обрывистыми склонами, окруженные обломочным материалом.

Карст открытый (средиземноморский) – встречается в Крыму, на Кавказе. Для развития карста здесь имеет значение характер выпадения осадков. Ливни захватывают и уносят с поверхности все рыхлые отложения - остаточные продукты от растворения карстующихся пород. Здесь карстовые процессы протекают наиболее интенсивно. Все виды карстовых форм встречаются: кары, поноры, воронки, котловины и т.д.

Карст покрытый (среднеевропейский) - приурочен к умеренно влажному климату с более равномерным распределением атмосферных осадков. Развивается, когда карстующиеся породы покрыты различными нерастворимыми отложениями и не испытывают непосредственного воздействия атмосфер. осадков. Карстовые процессы в этом случае развиваются на глубине под покровом некарстующихся пород. На поверхности – суффозионные воронки.

Карстовые отложения накапливаются в карстовых образованиях при растворении и перемещении материала ГП. По происхождению подразделяются на:

1. Отложения карстовых воронок и впадин, представленные железными рудами, бокситами, огнеупорными глинами, иногда лигнитами.

2. Карстовые отложения пещер и полостей. Бывают хим. (сталактиты, сталагмиты и натечные корковые образования), обломочные и органогенные. При кристаллизации CaCO_3 и SiO_2 образуются кристаллы кальцита, исландского шпата, горного хрусталя. Обломочные отложения представляют собой результат обвалов и сложены брекчиями, глыбами с песчаным пылеватым материалом. Органогенные отложения — это скопления экскрементов летучих мышей и продукты их распада, иногда скопления костей животных в виде костяной брекчии.

Сталагмит — тело минеральное, натечное, нарастающее снизу вверх, чаще всего известковое.

Сталактит — натечно-капельные образования, свисающие в виде конических сосулек. Возникают в результате выпадения в осадок углекислого кальция.

Карры — это разнообразные неглубокие выемки, образованные, в основном, выщелачиванием известняков поверхностными атмосферными водами. Н.А. Гвоздецким, одним из знатоков карста, были выделены карры следующих типов: лунковые, трубчатые, бороздчатые, желобковые, трещинные и ряд других.

Желоба и рвы представляют собой более протяженные и глубокие участки карстового выщелачивания поверхности известняков, наследующие поверхностные трещины и достигающие глубины до 5 м.

Поноры — узкие отверстия, наклонные или вертикальные, возникающие на узлах пересечения трещин при дальнейшем развитии процесса растворения и выщелачивания. Эти каналы служат стоком поверхностных вод и направляют их вглубь массива горных пород.

Карстовые воронки подразделяются на:

- 1) воронки поверхностного выщелачивания;
- 2) провальные;
- 3) воронки просасывания (коррозионно-суффозионные).

Первый тип воронок напоминает собой воронку от взрыва снаряда или бомбы. Образуются они за счет выщелоченной с поверхности породы. Обычно в центре такой воронки располагается понор-канал, по которому уходит вода. Диаметр воронок обычно до 50 м, редко больше, а глубина 5-20 м.

Провальные воронки связаны с обрушением свода над полостью, выработанной водами на некоторой глубине.

Коррозионно-суффозионные воронки возникают в том случае, когда карстующиеся известняки перекрыты пластом песчаных отложений и последние вмываются в нижележащие карстовые полости. При этом из пласта песка уносятся отложения в поноры и образуется воронка просасывания или вымывания. Процессы суффозии широко распространены в природе.

Блюдца и западины представляют собой мелкие, небольшие карстовые воронки. Если воронки разных генетических типов сливаются по несколько штук вместе, то образуется карстовая котловина.

Поля представляют собой довольно большие, сотни метров в диаметре, неправильной формы понижения, образовавшиеся при слиянии ряда котловин и воронок. В том числе и провальных.

Карстовые колодцы и шахты - это каналы, уходящие почти вертикально в известковые массивы на десятки и сотни метров при диаметре в первые метры. Они образуются при выщелачивании по трещинам, иногда поверхностными водными потоками, размывающими известняки. Шахтами называются вертикальные полости глубиной свыше 20 м, а меньше – колодцами. Если шахты соединяются между собой, а также с субгоризонтальными ходами и пещерами, то образуются карстовые пропасти, достигающие глубины в 1000 метров и более.

Слепые долины представляют собой небольшие речки, протекающие в закарстованных районах, имеющие исток, но внезапно оканчивающиеся у какой-нибудь воронки или поноры, куда и уходит вся вода.

Карстовые пещеры возникают различными способами: путем растворения, выщелачивания и размыва; путем обрушения, раскрытия и последующего размыва тектонических трещин. Таким образом, формируются пещерные полости, часто многоэтажные и сложные, когда отдельные крупные пещеры – «залы», соединяются с другими узкими каналами, щелями, нередко с текущими по ним ручьями.

Созидательная деятельность подземных вод.

Насыщение минеральными солями подземных вод приводит к выпадению их из раствора и образованию, например, из $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ минерала арагонита.

В пещерах образуются на стенах натечные корки, посреди – сталактиты и сталагмиты. Полости могут постепенно заполняться ими из вод, насыщенных кремниевой кислотой, образуя кремниевые туфы (гейзериты). В местах выхода на земную поверхность насыщенных углекислотой подземных вод откладывается углекислая известь в виде известкового туфа – травертина, а с Fe – массы бурого железняка.

В местах выхода подземных вод, богатых углекислотой, часто образуются новообразования в виде отложений известкового туфа CaCO_3 .

Например, при обследовании в Республике Татарстан свыше 3600 родников оказалось, что в 75 из них происходит отложение известкового туфа. Воды,

в которых происходит выпадение карбоната кальция, имеют плотный остаток от 250 до 484 мг/г, сильно насыщены CaCO_3 , температура их 5,5-6,0 °С. Расход незначителен до 10 л/с.

Все родники, откладывающие известковый туф, располагаются там на высоте 2 м от основания коренного склона и приурочены к пермским отложениям. Углекислота находится в равновесии с $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$. Очевидно, что нарушение устойчивости $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ происходит лишь в условиях выделения углекислого газа. Выделение же возможно в условиях усиленного испарения, а для последнего необходим некоторый перепад воды для возникновения вихревого (турбулентного) движения, что и наблюдается в местах выхода подземных вод вследствие нарушения устойчивости $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$:



Осадок Испарение и поглощение растениями

На потолке и дне карстовых пещер нередко образуются сталактиты и сталагмиты - своеобразные натечные образования в виде колонн. Широко распространены они в различных пещерах стран СНГ, Франции, США.

С деятельностью подземных и поверхностных вод и другими факторами связаны разнообразные смещения горных пород, слагающих крутые береговые склоны долин рек, озер и морей. К таким гравитационным смещениям, помимо осыпей, обвалов, относятся оползни. Именно в оползневых процессах подземные воды играют важную роль.

Под оползнями понимают крупные смещения различных горных пород по склону, распространяющиеся в отдельных районах на большие пространства и глубину.

Поверхность, по которой происходит отрыв и оползание, называется поверхностью скольжения, сместившиеся породы - оползевым телом. Место сопряжения оползневого тела с надоползевым коренным уступом называется тыловым швом оползня, а место выхода поверхности скольжения в нижней части склона - подошвой оползня.

В связи с отбором воды из водоносных горизонтов разного типа изменяется водный режим ландшафтов, происходит изменение растительности, меняются поверхностный сток и напряженно-деформированное состояние водонасыщенных горных пород.

Понижение уровня грунтовых вод приводит к угнетению лесов, к осушению и возгоранию летом торфяников, к уменьшению поверхностного водного стока и обмелению небольших рек, эвтрофикации мелеющих озер, оседанию отдельных участков земной поверхности. Поэтому необходим мониторинг влияния водоотбора на окружающую среду, а также геофильтрационное моделирование потока подземных вод.

Для многих городов характерно подтопление территорий, т. е. повышение уровня грунтовых вод за счет увеличения инфильтрации осадков, утечек промышленных вод, искусственного орошения. Такое подтопление вызывает усиление оползневых явлений, суффозии (вымывания), уменьшение прочностных свойств грунтов. Поэтому необходимо проводить дренаж, чтобы снизить уровень грунтовых вод.

Другая опасность – это техногенное загрязнение подземных вод из атмосферы в виде твердой и жидкой фаз, закачка промышленных стоков, утечки из систем канализации, свалки, нефтепродукты и др. Все это способствует проникновению токсичных веществ сначала в зону аэрации, а потом и в водоносные горизонты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате освоения дисциплины у студента формируются знания в области прикладных геоэкологических исследований, студент получает сведения и представления об общих закономерностях влияния антропогенной деятельности на абиотический компонент экосистем. Знания, полученные в результате освоения данной дисциплины, могут быть использованы в различных сферах деятельности, связанной с нормированием, экспертизой, охраной и защитой наземных экосистем и их компонентов. Знания представляют собой основу формирования экологического мировоззрения и экологической этики, формируют у студента навык работы, согласно принципам устойчивого развития, что особенно актуально в условиях роста техногенных геосистем.

Необходимость изучения геологии при подготовке специалистов-экологов обусловлена тем, что их будущая профессиональная деятельность будет связана с вопросами мониторинга, эколого-экономической экспертизы, охраны окружающей среды.

Геология, изучающая земную кору и подстилающий слой верхней мантии – литосферу, позволяет анализировать современные противоречия общества и природы, неизбежно возникающие в ходе научно-технического прогресса, разрабатывать стратегии их преодоления, исследовать роль геологической среды в формировании общества устойчивого развития и решать задачи разумного, рационального природопользования, позволяющего удовлетворять жизненные потребности людей в сочетании с охраной и воспроизводством геологической природной среды.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Основная литература

1. Короновский, Н.В. Геология: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Н. В. Короновский, Н.А. Ясаманов. – 7-е изд., перераб. – М.: Издательский центр «Академия», 2011. – 448 с.
2. Короновский, Н.В. Геология: учеб. / Н. В. Короновский, Н. А. Ясаманов. – 5-е изд., стер. – Москва: Академия, 2008. – 446 с.
3. Короновский, Н.В. Общая геология: учебное пособие, электронное издание сетевого распространения. – Москва: «КДУ», «Добросвет», 2018. – ISBN 978-5-7913-1025-5. URL: <https://bookonlime.ru/node/798/>
4. Общая геология: практические занятия: учебное пособие / А.И. Гушин, М.А. Романовская, Г.В. Брянцева; под общей ред. Н.В. Короновского. – Москва: ИНФРА-М, 2018. – 236 с.

Дополнительная учебная литература

1. Авдонин, В.В. Геология полезных ископаемых: учеб. / В. В. Авдонин, В. И. Старостин. – Москва: Академия, 2010. – 384 с.
2. Андриенко, М.Н. Геология: учебное пособие. – Калининград: Изд-во КГТУ, 2003. – 22 с.
3. Бетехтин, А. Г. Курс минералогии: учебное пособие / А. Г. Бетехтин. — Москва: КДУ, 2007. – 721 с.
4. Венгерова, М. В. Геология: учеб.-метод. пособие / сост. М. В. Венгерова, А. С. Венгеров. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. – 176 с.
5. Географический атлас Калининградской области / под ред. В.В. Орленка. – Калининград: КГУ: ЦНИТ, 2002. – 276 с.
6. Калининградская область: очерки природы / Сост. Д.Я. Беренбейм. – 2-е изд. – Калининград, 1999. – 229 с.
7. Калининградская область: природные ресурсы. – Калининград: Янтарный сказ, 1999. – 189 с.
8. Короновский Н.В., Якушева А.Ф. Основы геологии / Н.В. Короновский, А.Ф. Якушева. – Москва: Высшая школа, 1991. – 296 с.
9. Короновский, Н. В. Геология: учебное пособие для среднего профессионального образования / Н. В. Короновский. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2020. – 194 с.
10. Маслов, А.В. Геодезия: учеб. / А.В. Маслов, А.В. Гордеев, Ю.Г. Баграков. – 6-е изд., перераб. и доп. – Москва: КолосС, 2007. – 598 с.
11. Музафаров В.Г. Минералогия и петрография / В.Г. Музафаров. – Москва: Просвещение. – 1964. – 175 с.

12. Музафаров, В.Г. Определитель минералов, горных пород и окаменелостей. Справочное пособие / В.Г. Музафаров. – Москва: Недра. –1979. – 328 с.
13. Общая геология: в 2 тт. / Под редакцией профессора Л. К. Соколовского. – Москва: КДУ, 2006. Т. 1: Общая геология: учебник / Под редакцией профессора А. К. Соколовского. – 448 с.
14. Общая геология: практические занятия: учебное пособие / А.И. Гущин, М.А. Романовская, Г.В. Брянцева; под общей ред. Н.В. Короновского. – Москва: ИНФРА-М, 2018. – 236 с.
15. Практическое руководство по общей геологии: учеб. пособие для студ. вузов / А. И. Гущин, М. А. Романовская, А. Н. Стафеев, В. Г. Сталицкий; под ред. Н.В. Короновского. – 2-е изд. – Москва: «Академия», 2007. – 160 с.
16. Хаин, В.Е. Основные проблемы современной геологии (геология на пороге XXI века) / В.Е. Хаин. – Москва, 1994.
17. Хаин, В.Е. Историческая геология / В.Е. Хаин, Н.В. Короновский, Н.А. Ясаманов. – Москва: Изд- во Моск. ун-та, 1997.

Локальный электронный методический материал

Цветкова Надежда Николаевна

ГЕОЛОГИЯ

Редактор И. Голубева

Локальное электронное издание

Уч.-изд. л. 6,6. Печ. л. 5,7.

Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Калининградский государственный технический университет»,
236022, Калининград, Советский проспект, 1