



Э-Д.В.Ондар, О.А. Чооду

ГЕОЛОГИЯ

Кызыл
2018

ФГБОУ ВО «Тувинский государственный университет»

Э-Д.В. Ондар, О.А. Чооду

ГЕОЛОГИЯ

Учебно-методическое пособие

КЫЗЫЛ
2018

УДК 551 (075.8)
ББК 26.3я73
О-36

Печатается по решению Учебно-методического Совета
Тувинского государственного университета

Ондар Э-Д.В., Чооду О.А.

Геология: учебно-методическое пособие / Э-Д.В. Ондар, О.А. Чооду. – Кызыл: Изд-во ТувГУ, 2018. – 101 с.

В учебно-методическом пособии приведены сведения о минералах и горных породах, изложена методика построения геологических карт и разрезов. Лабораторные работы содержат таблицы, рисунки. В конце каждой работы приводятся контрольные вопросы и тесты для проверки знаний по пройденному материалу.

Цель учебно-методического пособия – заложить основы системного знания о геологических телах, горных породах, об их происхождении, методах изучения.

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов, обучающихся по специальности «Горное дело», специализации «Открытые горные работы» и «Подземная разработка пластовых месторождений».

УДК 551 (075.8)
ББК 26.3я73

Рецензенты:

К.т.н., доцент кафедры ПГС *Чылбак Алдынай Александровна*
Главный научный сотрудник ИНГГ СО РАН *Лебедев Владимир Ильич*
Старший научный сотрудник ТувИКОПР СО РАН *Кужугет Ренат Васильевич*

Введение

Учебно-методическое пособие предназначено для изучения дисциплины Б1. Б.10 «Геология» для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело» очной и заочной формы обучения.

Целью учебно-методического пособия является знакомство с геологией, как наукой, ее основными разделами, методами геологических исследований, ее местом в системе естественных наук; с начальными сведениями о положении Земли в ряду других планет Солнечной системы; со строением Земли, ее возрастом и вещественным составом земной коры – минералами и горными породами и их образованием; с главными закономерностями геологических экзогенных и эндогенных процессов; основными структурными элементами земной коры и закономерностями их развития, современными тектоническими концепциями.

Основными задачами курса являются:

- вооружение студентов теоретическими знаниями и практическими навыками, необходимыми для:
- понимания основных природных явлений, связанных с эндогенными и экзогенными геологическими процессами;
- приобретения навыков анализа взаимосвязей природных процессов, описания и документирования их последствий;
- умения описания минералов, горных пород, складчатых и разрывных нарушений, взаимоотношений различных геологических образований;
- понимания физической природы геологических процессов и возможности их прогноза и предупреждения.

В результате обучения обучаемый будет обладать следующими профессиональными компетенциями (ОПК-4, ОПК-5, ПК-16).

1. ОБЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ГЕОЛОГИИ

Геологию можно определять, как крупное научное направление, раздел естествознания или систему наук, которые изучают состав, строение, историю развития земной коры и те процессы, что ее формируют. Вместе с тем, это направление важной производственной деятельности, прогнозирующей и осуществляющей поиски и разведку полезных ископаемых, подземных вод, использование недр под строительство, решающее ряд других прикладных вопросов. В переводе с греческого геология означает учение или науку о Земле, хотя обычно круг ее интересов ограничивается лишь земной корой или литосферой. Землю в целом изучает планетология, а те процессы, что происходят в глубоких недрах, – геодинамика. Вместе с географией геология составляет комплекс наук о Земле, который тесно взаимодействует с другими направлениями естествознания – физикой, химией, биологией и астрономией.

Как самостоятельное научное направление геология оформилась позже других наук естествознания, хотя отдельные знания о веществе земной коры (камне, глине, рудах), подземных водах, природных процессах прошлого и порой фантастические представления о строении недр у человека появились уже в глубокой древности. Вероятно, это и многообразие изучаемых вопросов и решаемых задач стало причиной того, что геология как самостоятельный предмет не попала в школьные программы. Могла быть и другая причина этого. Геология была фактически единственной наукой, которая изучала историю развития природы, и ее выводы о длительности и характере таковой вызвали естественное противодействие со стороны религии (представления Ж. Бюффона, Ч. Лайеля и др.). Впрочем, в довоенные годы такой предмет был в нашей школе.

Структура геологических наук следующая:

1) Науки о веществе земной коры, главнейшими среди которых являются минералогия (изучение минералов) и петрография, изучающая горные породы. Как дополнение второй или самостоятельная часть выделилась литология, или наука об осадочных горных породах, а также петрология, выявляющая общие закономерности формирования магматических и метаморфических пород. Особняком стоит геохимия, расшифровывающая химические аспекты образования и взаимодействия вещества земной коры.

2) Динамическая геология изучает природные процессы, которые рождают или преобразуют земную кору. Часть этих вопросов близка к тем, что изучает физическая география, но геологию интересуют процессы формирования земной коры, литосферы. Как самостоятельные науки в составе динамической геологии могут рассматриваться вулканология (палеовулканология), сейсмология, мерзлотоведение (геокриология), седиментология (она развивается обычно в рамках литологии или на стыке с ней), лимнология (наука об озерах); направление это тесно связано с океанологией, гидрологией (наука о водной оболочке планеты).

3) Структурная геология изучает строение земной коры, условия залегания горных пород и слоев, деформации, формы геологических тел (вулканов, интрузивов, метаморфитов). Направление, изучающее тектонические движения, что их сформировали, получило наименование геотектоники. Иногда последнюю трактуют как науку, расшифровывающую строение и развитие земной коры, мантии, а также Земли в целом. Как самостоятельное направление в ее составе может выделяться геодинамика. Составной частью структурной геологии можно считать геоморфологию, или науку о рельефе Земли, его происхождении, развитии, связи с геологическим строением и развивающимися природными процессами.

4) Предметом исторической геологии является история формирования и общие закономерности развития земной коры. В состав историко-геологического направления наук о Земле входят стратиграфия (устанавливает последовательность залегания земных слоев), геохронология, или наука о земном времени, палеогеография, расшифровывающая физико-географические обстановки прошлого, историческая геотектоника.

5) Самостоятельным направлением геологии стала наука о подземных водах, или гидрогеология. Она понимается либо как составная часть гидрологии, либо как раздел о той части насыщенной водой литосферы, что называется подземной гидросферой.

6) Еще одним самостоятельным разделом геологии являются учения или науки о полезных ископаемых, которые обычно разделяют на геологию нефти и газа, геологию угля, рудных месторождений и др. Как обобщающая наука о закономерностях размещения и образования преимущественно рудных полезных ископаемых обособляется металлогения (минерагения).

7) Крупным направлением наук о Земле является региональная геология, которая изучает геологическое строение, историю развития, преобразующие природные процессы и полезные

ископаемые определенных площадей, территорий, регионов. Такими площадями могут быть отдельные материки, океаны, крупные тектонические структуры (платформы, складчатые области), страны.

8) Принято выделение также большого количества прикладных или специальных направлений геологических наук, среди которых нужно отметить инженерную геологию (изучает грунты и динамические процессы с точки зрения условий проведения строительства), экологическую геологию (проблемы экологии, решаемые на базе геологических знаний). Можно говорить также о ритмологии или литмологии, которые расшифровывают проявление ритмичности в формировании земной коры, осадконакоплении, смене палеогеографических обстановок, а также дополняют биостратиграфические построения. Тесно связаны с геологией горное дело, разработка нефтегазовых месторождений. Наконец, нужно назвать начавшее активно развиваться геологическое краеведение и ряд других направлений.

На стыке геологии с другими науками естествознания сформировалось большое количество новых самостоятельных наук. Это палеонтология, изучающая органический мир прошлого; биологическая по своей сути наука разрабатывается и используется преимущественно геологией, что позволяет ей датировать возраст толщ по заключенным в них органическим остаткам. Геоморфология и палеогеография могут рассматриваться как геологические и одновременно географические науки. Соответственно, предметом динамической геологии в значительной степени являются физико-географические процессы, которые называют также современными геологическими.

Изучением химии Земли, использованием химических данных и методов для поисков полезных ископаемых, а также выявлением закономерностей формирования вещества земной коры занимается геохимия, а расшифровкой внутреннего строения земных недр физическими методами – геофизика. На стыке геологии и физики развивается геодинамика. Расшифровкой влияния космоса на развитие земной коры занимается геокосмология; соответственно, результаты структурно-геологического изучения использует астрономия для объяснения морфологии поверхности планет Солнечной системы. Аналогичным образом данные историко-геологического анализа могут быть использованы для расшифровки частных вопросов механики небесных тел. Такой набор современных научных направлений позволяет решать практически весь круг вопросов, возникающих в науках о Земле.

Характерной чертой всякой науки следует считать существование своих методов для разработки и решения тех или иных вопросов. Если в большинстве наук естествознания в числе ведущих методов является эксперимент, то в геологии преобладают полевые, или натурные наблюдения, которые затем становятся предметом документации, специальной обработки и анализа. Количественные математические расчеты имеют второстепенное значение в геологии (в отличие от физики, химии и астрономии) и используются преимущественно при подсчете запасов полезных ископаемых, а также в гидрогеологии, геодинамике, инженерной геологии. Среди своеобразных и наиболее типичных для геологии методов необходимо назвать:

– составление геологических карт, которое обычно базируется на проведении специальных полевых наблюдений. Это ведущий метод структурной геологии, и его следует рассматривать как своеобразное моделирование строения недр определенного участка земной поверхности. Он позволяет выявлять закономерности размещения полезных ископаемых и становится основой для соответствующих прогнозов.

– дистанционное зондирование, или изучение земной поверхности путем использования специальных аэрокосмических наблюдений и оптических измерений. Оно также может рассматриваться как составная часть геологического картирования или картосоставительских работ, а также специальных геодинамических и структурно-геологических исследований.

– метод актуализма, при котором изучение прошлой геологической истории проводится по аналогии с современными наблюдениями. Он основан на представлениях о том, что раньше также существовали моря, океаны, суша и горы, поясовая климатическая зональность, проходили природные процессы, аналогичные современным. Обоснованный еще в 1830 г., данный метод и даже принцип и ныне остается ведущим в исторической геологии.

– метод аналогий является важным для региональной геологии, так как позволяет предполагать строение определенного региона по аналогии с другим, более детально изученным. Он интересен тем, что дает возможность прогнозировать существование или размещение отдельных полезных ископаемых, которые выявлены в аналогичных условиях других регионов.

В частности, именно его использование позволило успешно проводить поиски месторождений нефти и газа в Днепровско-Донецкой впадине и Западной Сибири, алмазов на Сибирской платформе, которая сравнивалась с тогда уже более детально изученной Африканской платформой.

Большим разнообразием характеризуются методы историко-геологического анализа, в числе которых существуют стратиграфические, радиогеохроно-логические (установление абсолютного возраста пород путем специальных физико-химических определений), фациальные, формационные и другие исследования, позволяющие определять физико-географические обстановки прошлого.

Общие представления о геологии необходимо дополнить сведениями о роли геологических наук и знаний, результатом работ по изучению и освоению недр. Они существенно отличались на разных этапах истории человечества и в разных странах. Именно геология подготовила научные и практические основы для обеспечения человечества минеральным сырьем, масштаб и многообразие которых менялись во времени и потребность в котором непрерывно возрастает. Крупное строительство уже в древнем мире потребовало развития знаний в области инженерной геологии, а разнообразное использование подземных вод соответствующего формирования гидрогеологии. Эта наука сформулировала положение о природных катастрофах прошлого и эволюции, показала взаимоотношение между этими явлениями, а также характер воздействия космоса на развитие Земли.

Историко-геологический анализ и методы позволили обосновать мировоззренческий характер полученных этими науками знаний и положения, как развивалась земная кора и биосфера прошлого, в том числе – как происходило формирование человека; сейчас на базе историко-геологических данных появляется возможность разрабатывать прогнозы или данные о возможности некоторых природных катастроф. Современная геология обеспечивает научные основы рационального природопользования, охраны недр, представления о минеральных ресурсах и запасах полезных ископаемых, обосновывает инженерные решения при проведении различного рода строительства. Появляются такие новые и активно развивающиеся науки как экологическая геология и гидрогеология, геодинамика, учение о ритмичности природных процессов.

1.1 История развития геологических знаний

История геологических знаний условно исчисляется тысячелетиями. Три последних века могут рассматриваться как время становления и оформления большинства геологических наук. Процесс этот был крайне неравномерным, характеризовался непрерывным ускорением. История исследований и развития этих знаний может быть разделена на несколько самостоятельных этапов. Главная цель такого рассмотрения – показать суть основных геологических представлений и наук того или иного времени.

Первые геологические знания и античная наука.

Становление человеческого общества неразрывно связано с использованием камня, поверхностных и подземных вод, непосредственным общением с природой. Это потребовало от человечества простейших знаний, каких-то наблюдений, обобщений, а затем научных выводов. В результате он научился определять и отыскивать нужные ему камни, производить первое, иногда подсознательное их группирование и классифицирование (камни для орудия, для бытового использования, для строительства и украшения), предвидеть какие-то стихийные бедствия, давать первые объяснения. Последнее нашло отражение в формировании различного рода поверий, а также в сказаниях, сагах, мифах, религиях. В числе наиболее распространенных были представления о потопе – катастрофическом явлении, которое всегда влекло за собой большое количество жертв.

Появление наиболее древних каменных орудий, используемых и частично обработанных предками человека, определяется в 2,5 млн лет. Интервалом примерно 80–4 тыс. лет определяется продолжительность каменного века, или древнейшая эпоха в жизни человечества. 40–25 тыс. лет тому назад использовалось древнейшее «огниво»; 15 тыс. лет назад началось изготовление керамической посуды; 14–10 тыс. лет назад использовались первые из известного каменного украшения; 8–5 тыс. лет – возраст древнейших каменных построек и памятников. Такие действия человека требовали определенных знаний о веществе земной коры, свойствах камня, местах его размещения, необходимых условиях добычи и обработки.

В числе первых обобщений, которые в целом правильно изображают последовательность историко-геологического развития событий на Земле, были библейские представления о шести актах, днях или этапах творения. Возникновение «мирового вещества», светящейся материи («да будет свет»), вращение окружающих Землю тел, которое обусловило образование дня и ночи. На втором этапе обособилась атмосфера и гидросфера, на третьем образовалась, суша с растительностью. Затем

появились первые животные (рыбы, пресмыкающиеся, птицы), наземные животные и человек. И хотя современная историческая геология и палеонтология не могут в полном объеме согласиться с такой последовательностью развития планеты и жизни на ней, для документа, которому 3,5 тыс. лет, это было крупным обобщением и научным достижением.

Из числа других интересных документов древности необходимо назвать составлявшиеся в Китае в течение XX–IV ст. до н. э. «Древние сказания о горах и морях». В древнеиндийских легендах говорится о боге Брама, который переживает периоды сна и бодрствования, что находит отражение в периодически случающихся пожарах и потопах; основанием для таких представлений были землетрясения и наводнения в предгорьях Гималаев, долинах Инда и Ганга. В Древнем Египте и Двуречье предсказания разливов и других природных явлений уже базировались на высокоорганизованных астрономических наблюдениях, а умение обрабатывать и использовать строительный камень, изготавливать скульптуры и сейчас поражают современников.

Более полные и четко сформулированные геологические знания, и представления появляются в классической древности, или античной науке Древней Греции и Рима. Так, Фалес Милетский (624–547 гг. до н. э.) утверждал, что Земля с населявшими ее организмами возникла из воды и вновь в нее обратится. Несколько позже Ксенофан истолковал нахождение морских раковин в горах как признак бывшего затопления этой части суши морем. Гераклит Эфесский (около 530–470 гг. до н. э.) утверждал, что основу всего составляет огонь: из него рождаются отдельные предметы и вновь в него превращаются; огонь порождает море, море – Землю и жар, возгорание поднимающихся паров образует Солнце. Его современник Эмпедокл высказал предположение об огненно-жидком ядре Земли.

Наиболее значительной фигурой античной науки был Аристотель (384–322 гг. до н. э.). В своей книге «Метеорология» он отмечает наступление суши или моря на одну и ту же площадь, связывая такую периодичность с климатическими изменениями. Вселенная, по Аристотелю, существует вечно, а реки и моря – временно. Горячие минеральные источники являются морской водой, проникшей вглубь Земли и там нагретой. Различная руда и камни образуются в результате возгонки их в газообразном состоянии из недр. Он формулировал зависимость землетрясений от космических причин. Аристотель считал, что под влиянием лучей Солнца Земля выделяет испарения; при проникновении лучей глубже в результате испарений рождаются камни, металлы и руды. Планету он сравнивал с неким живым существом, которое в своем развитии проходит стадию юности, зрелости, старости.

Теофраст (372–287 гг. до н. э.) в своем сочинении «О минералах» заложил основы минералогических знаний. Эти сведения использует римский натуралист Плиний (23–79 гг.) в составленной им 36-томной «Естественной истории», где пять томов посвящены описанию минералов, их происхождению и применению. Он признает падение метеоритов («Камни часто на Землю падают»), указывает на образование янтаря из окаменевшей смолы деревьев. К неорганическим веществам он относит некоторые палеонтологические остатки (белемниты, аммониты) и предполагает, что эти слоновьи кости «из Земли растут». Он же приводит явно фантастические сведения о размножении минералов, некоторых лечебных и мистических их свойствах. Древнеримский исследователь Сенека (4–65 гг.) в своем 7-томном труде «Вопросы природы» рассматривает некоторые экзогенные и эндогенные процессы, пытается объяснить причину землетрясений, изучает разрушающую и растворяющую роль воды, периодически возникающие наводнения.

Таким образом, в целом античная наука оставила крупный след в начальном этапе человеческого познания неживой природы. Началась дифференциация естествознания, в частности, выделение в его составе физики и метафизики, химии и алхимии, землеописания и физической географии («метеорологии»). Появляются первые представления о длительной истории Земли, бесконечности и вечности Вселенной, существовавшей миллионы лет. Важным результатом и наследием античности была логика науки, натурфилософская направленность ее исследований (философия природы). Исследованиями Геродота, Гераклита, Птолемея, Эратосфена и Страбона, были заложены основы географии, а Теофрастом – основы минералогии. Древнегреческое естествознание изучалось в средневековой Европе, на Ближнем Востоке и на протяжении почти тысячелетия оставалось важным и прогрессивным этапом знаний о Земле и природе.

1.2 Этап эмбриональной геологии (XVI – первая половина XVIII ст.)

Новый этап развития общества начинается с XV ст., когда в странах Европы появляются условия для развития капиталистических отношений. Это сопровождается резким ростом потребностей в минеральном сырье.

В истории первая часть данного этапа именуется эпохой Возрождения, в числе важнейших событий которой были Великие географические открытия. Формулируются также гелиоцентрические представления Н. Коперника, начинается расцвет в области искусств (живопись). Вторая половина этапа (1650–1740) стала временем первых геологических и общенаучных обобщений, разнообразных «Теорий Земли». Все это позволяет считать этап в целом временем зарождения первых геологических знаний, или эмбриональной геологии по Б.П. Высоцкому (1977).

К началу этапа относятся экспедиции Х. Колумба (1492, 1493, 1498 гг.), которые привели к открытию Америки. В 1497 г. Васко да Гама обогнул Африку и нашел новый путь в Индию; в 1502 г. он совершил туда уже военные походы, положив начало колонизации. В 1519–1522 гг. Ф. Магеллан совершил первое кругосветное путешествие. Необходимо подчеркнуть, что движущей силой всех этих походов были, в первую очередь, поиски золота и драгоценных камней. И, естественно, путешествия обогатили мировоззрение человечества, активизировали научные исследования в различных областях естествознания и прикладной техники.

В числе крупных деятелей начала рассматриваемой эпохи был итальянский художник, ученый, архитектор Леонардо да Винчи. В процессе проведения земляных работ он часто наблюдал раковины морских животных, существованию которых давал правильное объяснение; для расшифровки этого явления он привлекал представления о тектонических движениях (поднятиях). Леонардо отрицал Потоп (воде некуда было деться, стекать); рост Земли он объясняет за счет формирования «перегнойя», а соленость моря – привнесением солей. Вулкан, по его представлениям, – это результат внутренних процессов горения.

Крупнейшей фигурой эпохи Возрождения был Агрикола (Георг Бауэр, 1494–1505), научные выводы которого базировались на опыте разработки рудных месторождений Центральной Европы. Минеральные образования он разделял на горючие ископаемые, земли, соли, драгоценные камни, металлы и минеральные смеси («минеральные тела», включавшие «горные породы и подземные неживые тела»; а среди последних – «простые, составные, смешанные»). В отношении их происхождения он придерживался средневековых взглядов, считая их «загустевшими соками Земли». Горы, по представлениям Агриколы, образуются деятельностью воды, ветра, землетрясений, вулканических извержений. Воду он различал атмосферную глубинную (горячие источники), «чистую» и минерализованную. Причиной землетрясений он считал пожары и взрывы в подземных пустотах.

Круг вопросов, условно относимых к геологии, в эпоху средневековья возрастает. У. Гилберт дал сводку о земном магнетизме (1600); Землю он рассматривает как огромный магнит, имеющий оболочечное строение – ядро и кору. Б. Варений во «Всеобщей географии» (1650) уточняет эти взгляды: земной шар состоит из «Земли», воды, атмосферы; здесь же у него есть высказывания о биосфере. Зоолог К. Гезнер выпустил в 1565 г. первую иллюстрированную книгу о «фигурных камнях» (ископаемых, или фосс依лиях), основную часть которых он считал «игрой природы». Б. Палисси приводит первое обобщение знаний о подземных водах (1575); он собирал ископаемые, различая среди них морские, озерные и речные формы. П. Мартин выдвинул представления о «Золотом дереве», якобы растущем в центре Земли и имеющем ветви – жилы с золотом (1577). Воскресла также мысль алхимиков о «семенах» металлов и «металлических» минералах, растущих в Земле.

Последний век рассматриваемого этапа характеризовался активизацией естественных научных обобщений. Родоначальником современной экспериментальной науки принято считать Ф. Бэкона (1561–1626), который сформулировал мысль, что индукция, анализ, сравнение, наблюдение, эксперимент есть главное условие рационального метода познания. Он не был геологом или географом, но первым обратил внимание на глобальную закономерность – заостренность южных окончатий материков. Р. Декарт в своей работе «Начала натурфилософии» (1644) изложил гипотезу происхождения Солнечной системы: она образовалась из вихреподобных сгущений движущейся материи, представленной первоэлементами. Первоначально Земля была подобна Солнцу, потом произошло ее охлаждение.

Большое значение для естествознания имели работы И. Ньютона (1643–1727), доказавшего единство и всеобщность основных законов природы. Он также придерживался взглядов о первоначально огненно-жидком состоянии Земли. Г.В. Лейбниц (1646–1716) сформулировал

«принцип непрерывности», или унаследованности развития в природе. Ему принадлежит афоризм «природа не делает скачков». Он писал: «Все во Вселенной находится в такой связи, что настоящее всегда скрывает в своих недрах будущее, и всякое данное состояние объяснимо естественно лишь из ему предшествовавшего». Среди других естественно-научных представлений заслуживает интерес гипотеза Э. Галлея о том, что Всемирный потоп мог быть результатом встречи Земли с кометой (1724). Поскольку происхождение соли в океанах он объяснял привнесением ее реками, им предложен способ определения «древности света» по подсчету данного вещества в гидросфере.

Среди весьма важных для геологии исследований рассматриваемого этапа обычно принято называть сочинения датского естествоиспытателя Н. Стено «О твердом, естественно содержащемся в твердом» (1669), где он изложил результаты своих геологических наблюдений в Тоскане. Деля все породы на скалистые и слоистые, он высказал предположение, что последние образовались путем осаждения из воды. Наклонное положение осадочных пород является следствием тектонических нарушений. Наблюдение над кристаллами кварца и гематита привели его к установлению одного из основных законов кристаллографии – закона постоянства углов кристаллов. Его выводы положены в основу одного из важнейших принципов стратиграфии – последовательности образования геологических тел: в осадочном разрезе вышележащая толща моложе нижележащей.

Наконец, последний век рассматриваемого этапа стал временем появления первых регионально-геологических работ: «Геологии Норвегии» Эшотта (1657), «Естественной истории Швейцарии» Шейхуфа (1706–1713), где наряду с описанием организмов сделана попытка первого составления геологических профилей. Начинается составление первых геологических карт (Л. Кулон, 1644; М. Листер, 1664), производится выделение местных стратиграфических подразделений, попытка создания «литологического времени». Так, А.Ф. Марсилье разделил все породы на первичные (первозданные, «допотопные») и вторичные – осадочный покров (1681). Г. Миллиус в 1709 г. разработал первую стратиграфическую схему цехштейна Саксонии, выделив здесь 18 толщ. И. Стрейш (1714–1725) обособлял в Англии угленосные слои, красный мергель, желтую землю, лейас, мел. П. Перро в 1674 г. предложил конденсационную теорию происхождения подземных вод и попытался составить их баланс.

Таким образом, к середине XVIII ст. в развитии геологии утвердились представления о непрерывных изменениях лика Земли. Начали появляться направления, связывающие образование пород с внутренними и внешними процессами, утвердились правильные взгляды на природу окаменелостей. Уже в XVII ст. возникает ряд «Теорий Земли», первых попыток широких абстракций, обобщения каких-то наблюдений и объяснения условий образования Земли. С XVI ст. возникают научные общества или академии во Флоренции (1520), Неаполе (1560), Риме (1590), Лондоне (1645), Германии (1652), Париже (1666), Берлине (1700), Санкт-Петербурге (1725), Стокгольме (1739), Копенгагене (1743) и др. Они становились центрами научной мысли, хотя иногда и осуждали прогрессивные идеи. Вместе с тем ученых, занимавшихся лишь геологией, пока еще не было.

1.3 Этап возникновения геологии как отрасли естествознания

Рассматриваемое время – вторая половина XVIII – начало XIX ст. – характеризуется утверждением капитализма в передовых странах (Италия, Англия, Франция), развитием движения просвещения, направленного против феодальных пережитков и частичным отходом от библейских канонов.

В естествознании того времени формулируется ряд универсальных научных гипотез, космогонических представлений. Именно с 40-х гг. XVIII ст. появляется целый ряд работ, которые уже можно именовать геологический-ми. Так, проводятся первые стратиграфические и историко-геологические исследования, совершенствуются методы изучения вещества земной коры.

Среди общегеологических работ рассматриваемого этапа необходимо отметить исследования Л. Моро, в которых он хотя и придерживается библейских представлений, но демонстрирует иной подход. Он отрицает роль Всемирного потопа, но признает роль Бога, зажегшего огонь в недрах Земли (вулканизм). Соленость морей по Моро – это результат выщелачивания водой продуктов вулканизма (1740, 1751). Утверждая, что природа действует всегда однотипно или однообразно, имеет единые законы развития, этот исследователь формулирует элементы и идеи актуализма.

В посмертно изданной в 1740 г. работе Г.В. Лейбница «Протогея» (он умер в 1716 г.) формулируются представления о том, что Земля произошла из расплава. В процессе остывания здесь образовались участки шлака, отдельные пузыри, при обрушении которых возник потоп. В работах И. Канта «Всеобщая естественная теория Земли и неба» (1755), а затем П. Лапласа образование планет Солнечной системы предполагается из рассеянной материи (1796). В работе де Малле «Теллиамед»

(1748) все горные породы трактуются как затвердевшие осадки. Этот исследователь признавал вымирание, переход организмов из моря на сушу, однако в вопросах вулканизма придерживался традиционных взглядов – это результат горения нефти, жира и угля.

Определенное значение для геологии имели работы шведского биолога К. Линнея (он был автором 19 геологических работ), который придерживался мнения, что потоп не имел геологического значения. В своей «Системе природы» (1735) он предложил и в неживой природе, по аналогии с органическим миром, деление на классы, отряды, роды и виды. В частности, он выделял классы камней, минералов и россыпей. В числе палеонтологических работ Линнея необходимо назвать описание некоторых видов трилобитов. Фоссилии он разделял на:

- 1) почти неизменные;
- 2) полые;
- 3) отпечатки;
- 4) полые окаменелости.

Вероятно, наиболее значительной фигурой в геологии первой половины рассматриваемого этапа был Ж. Бюффон. В своей «Естественной истории» (1749, раздел «История и теория Земли») он формулирует космогонические представления: планета образовалась в результате удара кометы о Солнце. Бюффон отрицал катастрофы; природа, по его мнению, это система законов, а складки в ее истории – случайные явления. Гранит он считал отвердевшим осадком. В целом, его взгляды отражали существующие представления того времени; однако даже в таком виде они вызвали осуждение со стороны Сорбонны, и он вынужден был «отказаться» от них.

Среди последующих исследований Ж. Бюффона необходимо отметить его «Эпохи природы» (1778), где на основании эксперимента он утверждал, что жизнь на Земле возникла 38 949 лет назад и исчезнет через 93 291 год.

В истории планеты им выделяется 7 эпох:

- 1) она приобрела свою форму;
- 2) сформировалась ее земная кора;
- 3) появилась гидросфера и т. д.

В современную эпоху к силам природы присоединился человек. В 1785–1788 гг. Бюффон опубликовал пятитомную «Историю минералов», где он попытался дать их генетическую классификацию на основании «происхождения родства». Он был первым исследователем, который попытался ввести принцип развития в область наук о веществе.

Ко второй половине XVIII века относятся первые стратиграфические работы. В частности, Д. Ардуино предложил для Италии первую стратиграфическую схему, включающую первичные образования (без окаменелостей), вторичные, примерно отвечающие нынешнему палеозою и мезозою, третичные и четвертичные (1760). Необходимо подчеркнуть, что два последних подразделения и термина просуществовали практически до нынешнего времени. И.Г. Леман (1762) предложил для Германии свою стратиграфическую схему, выделив ряд местных стратиграфических подразделений, фигурирующих и сейчас. Изучение им флетцевых (слоистых) отложений иногда позволяет считать этого исследователя первым, кто отметил седиментационную цикличность. Эту схему для Тюрингии уточнил У. Фюксель. Им также введены такие стратиграфические термины, как «Слой», «Толща», «Горная серия». Отдельные слои он охарактеризовал окаменелостями, что позволяет считать его первым исследователем, который установил общие принципы построения стратиграфической шкалы (1762, 1778).

Рассматриваемый этап знаменовался существенным прогрессом в области изучения вещества земной коры. 50–70 гг. XVIII в. называются иногда временем возникновения «базальтового вопроса» (Геттар, 1751; И. Монт, 1760; Т. Бергман, 1770 и др.), в течение которого обсуждались представления об осадочном или магматическом его происхождении. Вероятно, наиболее важным были сформулированные А. Кронштедтом в 1758 г. положения, по которым он четко отделил минералы от «смешанных» пород – гранитов, базальтов и др. Этим было положено разделение наук о веществе земной коры на минералогию и петрографию.

Наконец, данный этап был временем значительных геологических работ в России. Среди них нужно отметить, прежде всего, две небольшие работы М.В. Ломоносова «Слово о рождении металлов» и «О слоях земных» (1757, 1763), где он касался самых различных вопросов. Там есть первые представления о колебательных тектонических движениях, палеогеографии, мощности земной коры, равной 30-70 км (поразительные для того времени данные!), о геологическом времени, несоизмеримости его с библейскими представлениями и т. д. Среди других исследователей, принимавших участие в академических экспедициях и освоении Урала, необходимо назвать В.Н.

Татищева, И.И. Лепехина, который затрагивал вопросы происхождения озера Байкал, П.С. Палласа, формулировавшего представления о циклах природы, катастрофизме, давшего одну из первых стратиграфических схем.

Таким образом, в целом вторая половина XVIII века трактуется как этап возникновения геологии; она была временем, когда создались все основные предпосылки для формирования этого раздела естествознания. Разными исследователями высказываются идеи униформизма, катастрофизма, направленного развития и цикличности. Зарождаются идеи вулканологии, появляются первые работы о ледниках (1760, 1777), вводится термин «морена». Вещество земной коры стало разделяться на минералы и горные породы; большое внимание уделяется выявлению условий происхождения последних. Производятся первые стратиграфические исследования. Де Люк впервые использовал термин «геология» в трактовке, близкой к нынешнему его пониманию (1778).

1.4 Этап становления и начала дифференциации геологии (XIX ст.)

К концу предыдущего этапа, двух-трех последних десятилетий XVIII ст., сформированы предпосылки для появления ряда основных направлений геологии: учения о генезисе горных пород, основ стратиграфии, представлений о цикличности историко-геологического развития, попыток расшифровки геологического строения и анализа истории формирования отдельных площадей и Земли в целом. Эти и ряд других представлений позволили уже в первой половине XIX ст. оформиться геологии как крупному самостоятельному разделу естествознания, а ко второй половине этого века той отрасли знаний, которую можно определять, как науки о Земле. Рассматриваемый этап стал временем активного развития стратиграфических, палеонтологических, структурно-геологических, палеогеографических, гидрогеологических и геотектонических исследований, временем острой борьбы взглядов по вопросам катастрофизма и эволюции.

Конец XVIII ст. и первая половина XIX ст. и особенно 20–40-е годы рассматриваемого этапа были временем активного развития стратиграфии, ее биостратиграфического направления, в частности. В течение этих двух десятилетий (1822–1841), названных Б.С. Соколовым «героической эпохой» в развитии геологии, были установлены все основные подразделения общей стратиграфической шкалы фанерозоя; это время называют иногда стратиграфическим этапом развития геологии. Таким успехам содействовали оформление биостратиграфического принципа, сформулированного работами Ж. Сулави (1779) и В. Смита, стратиграфические исследования Ж. Кювье и А. Брюньера во Франции, А. Седжвика, Р. Мурчисона, У. Филлипса и др. в Англии. Стратиграфические представления были положены в основу оформившихся структурно-геологических работ, начало проведения геологического картирования в разных странах. В России, в частности, это направление активно развивал Д.И. Соколов.

Начало XIX ст. стало также временем уточнения представлений по некоторым кардинальным вопросам геологии и, в частности, характера историко-геологического и палеонтологического развития. Ж.Б. Ламарк в своих работах «Гидрогеология» и «Философия зоологии» (1802, 1809) изложил свою эволюционную теорию, базирующуюся на постепенных изменениях в процессе длительного развития, наследовании новых свойств организмов под воздействием внешних условий. Он отвергает господствовавшее учение о постоянстве видов, отстаивает принципы исторического подхода при изучении геологических явлений.

Иную точку зрения на характер развития органического мира излагает Ж. Кювье (1812), крупный стратиграф и даже основатель палеонтологии, каковым его иногда считают. Он отрицает эволюционные идеи Ламарка, игнорирует постепенность переходов Ж. Бюффона и формулирует свою «теорию катастроф». В основе его представлений лежит обычно наблюдавшаяся смена палеонтологических комплексов в стратиграфических разрезах, которую он объясняет гибелью организмов и переселением их в районы, не захваченные катастрофами. Подобные перевороты (революции) были, по его мнению, неоднократными; результатом последнего переворота были многочисленные эратические валуны и следы замерзших млекопитающих. Доказательством более древних катастроф были тектонические нарушения и несогласия. Причин катастроф Ж. Кювье не объясняет, признает их непознаваемость и не видит их аналогов среди современных процессов. Он отрицает космические воздействия и роль вулканизма (первые действуют медленно, а вулканы не поднимают и не опрокидывают слои).

Более категоричными катастрофистами были некоторые ученики и последователи Ж. Кювье. Так, Д'Орбиньи считал, что во время каждого из переворотов полностью изменяются очертания материков, все живые существа мгновенно гибнут, а затем под влиянием непознаваемых сил возникают новые их группы. В истории Земли он насчитал 27 подобных катастроф. Ж.Л.Р. Агассис

связывал гибель организмов с теорией материкового оледенения, которое он обосновывал: именно он был причиной всеобщей катастрофы (1840, 1847). Эли де Бомон разработал методiku определения возраста складчатости на основании стратиграфических и угловых несогласий, был автором контракционной гипотезы тектогенеза.

Наиболее крупной фигурой первой половины XIX ст. был английский геолог и естествоиспытатель Ч. Лайель, который стал одним из главных создателей актуалистического метода и обычно рассматривается как основатель геологии. В своем главном трехтомном труде «Основы геологии» (1830–1833) он объясняет события минувшего на основании сопоставления с современными наблюдениями. Формулируемый им принцип униформизма («Современное – ключ к познанию прошлого») он считал определяющим, а действующие в природе силы – постоянными. Лайель подверг критике теорию катастроф, отрицал роль божественного начала в геологии, признавал климатическую цикличность, повторяемость и допускал, что в результате изменения климата Землю опять могут заселить динозавры. Все горные породы он подразделил на четыре основные группы, существующие и ныне, – осадочные, вулканические, плутонические и метаморфические. Он был автором аквальной теории происхождения лёссов, одним из основателей теории дрифтового переноса валунов путем вмерзания их лед. Но главное – Лайель обосновал познаваемость прошлого, «внес здравый смысл» в геологию (по словам Ф. Энгельса).

Середина XIX ст. считается иногда палеогеографическим этапом развития геологии; научные исследования этого профиля пошли по разным направлениям. Для первой половины века характерны многочисленные обоснования возможности обширного материкового оледенения в пределах равнинных областей Европы в прошлом; представления эти сопровождалось многочисленными возражениями и спорами. Среди главных работ этого направления были исследования Ж. Шарпентье (1836), а также монументальный труд Агассиса (1840). Предпринятая в 1852 г. экспедиция в Гренландию подтвердила существование там ледникового покрова.

К 60–70 гг. XIX в. представления об оледенениях окончательно утвердились, что позволило даже обосновать существование тиллитов – следов древнего гондванского оледенения. На основании анализа уже составленных геологических карт делаются попытки восстанавливать соотношения морских и континентальных площадей прошлого, создавать первые палеогеографические карты. Важное значение для таких представлений имело введенное в 1838 А. Грессли понятие о фациях и активное развитие этих представлений А. Оппелем (1856–1858) и др.

Еще одним важным направлением естествознания, тесно связанным с геологией, было развитие эволюционного учения. Толчком для его оформления была работа Ч. Дарвина «Происхождение видов путем естественного отбора» (1859), в которой формулировался принцип неполноты палеонтологической и геологической летописи. Результатом всех этих исследований стали новые представления о происхождении человека. В.О. Ковалевским были разработаны основы эволюционной палеонтологии – направления, пограничного между биологией и геологией. Наконец, историко-геологические исследования сыграли важную роль в появлении такого понятия как экология (Геккель, 1869), всплеск развития которой приходится на последнюю треть XX ст.

Ко второй половине XIX ст. относится начало целенаправленного изучения подземных вод, оформление гидрогеологии как самостоятельного научного направления. В это время проводятся исследования и формулируются представления о генезисе подземных вод (Эли де Бомон, 1847; О. Фольгер, 1877; Э. Зюсс, 1902), их динамике (А. Дарси, 1856; Н.Е. Жуковский, 1889), проводятся важные регионально-гидрогеологические исследования (Н.Д. Борисяк, 1862; А.В. Гуров, 1886; Н.А. Головкинский, 1886; С.Н. Никитин, 1900), обосновывается современное понимание сути гидрогеологии (Г. Лукас, 1879; Пауэлл, 1885; И.В. Мушкетов, 1891).

Важной особенностью геологии второй половины XIX ст. стало появление основных геотектонических понятий, что позволило в следующий этап оформиться на их базе крупному научному направлению. В американской геологии зарождаются идеи о геосинклиналях и появляется этот термин (Дж. Холл, 1859; Д. Дэна, 1873). М. Бертран формулирует представления о периодичности проявления орогенезов, им выделяются четыре основные эпохи складчатости – гуронская, каледонская, герцинская и альпийская эпохи горообразования (1886); он же заложил основу теории шарьяжей. В работах Н.А. Головкинского, А.П. Карпинского и Э. Зюсса начинает разрабатываться теория колебательных тектонических движений.

Последние десятилетия XIX ст. знаменовались многочисленными регионально-геологическими исследованиями, среди которых особо следует отметить работы Э. Зюсса по Альпам (1875), И.В. Мушкетова по Средней Азии (1874–1880), А.П. Карпинского по югу европейской России (1881, 1883, 1887, 1894), В.А. Обручева по Средней и Центральной Азии. Результатом этих, а также

многих других исследований стало первое глобальное обобщение геологического материала, выполненное Э. Зюссом в его основном труде «Лик Земли» (1883–1909). В 1872–1876 гг. проведена первая комплексная экспедиция по изучению Мирового океана.

Для геологии рассматриваемого этапа важную роль играло создание различного ряда обществ и других научных объединений. В частности, в России создается Минералогическое общество в Петербурге (1817), географическое общество (1845), общество естествоиспытателей при Московском университете (1805).

Ко второй половине XIX ст. относится создание государственных геологических служб во многих странах (Англия, 1835; Австрия, 1849; Франция, 1855; США, 1867; Германия, 1873). В России это произошло в 1882 г.; в числе основных работ созданного Геологического Комитета было проведение крупномасштабных геологических съемок в Донбассе (Л.И. Лутугин и др.). Наконец, с последней четверти XIX ст. начинается регулярное проведение сессий Международного Геологического Конгресса (1878, 1881, 1885, 1888, 1891, 1894, 1897, 1900 гг.), знаменовавшее активное международное сотрудничество в этой области науки.

1.5 Этап оформления современной геологии (первая половина XX ст.)

Первая половина XX ст. характеризуется наиболее активным развитием геологических наук, что диктовалось резко возросшими потребностями передовых и развивающихся стран в минеральном сырье. Это время оформления международного сотрудничества в науках о Земле, регулярного проведения Международных геологических конгрессов (МГК) и работы других аналогичных организаций. Возникали новые идеи, обсуждение которых сопровождалось обострением дискуссии. Резко возрастает роль и масштабы геологического образования. Происходит зарождение новых геологических наук и научных направлений, активная дифференциация геологии.

Среди главных научных направлений активно развиваются геотектоника (ее оформление началось с последней трети XIX ст.), структурная геология как основа геологического картирования, литология, а также региональная и историческая геологии. Сформировалась как крупное научное направление геохимия; создаются предпосылки для зарождения петрологии (учения о метаморфизме, интрузивном процессе). Происходит зарождение геохронологии, что базируется на начавшемся определении абсолютного возраста пород. Продолжается интенсивное изучение подземных вод, геологии рудных месторождений, угля и нефти.

Важное значение в развитии геологии сыграли работы Э. Зюсса, Г. Ога, А.П. Карпинского, проводивших на границе веков разносторонние исследования и выполнивших крупные обобщения. Профессор Парижского университета Г. Ог был автором работы «Геосинклинальные и континентальные площади» (1900), а также учебника «Геология» (1907–1911), выдержавшего несколько изданий в разных странах. Развиваемыми им положениями были: 1) геосинклинали и платформы являются основными тектоническими структурами земной коры; 2) повторяемость орогенезов, которая обуславливает цикличность геотектонического развития; 3) взаимосвязанность трансгрессивно-регрессивных процессов на платформах и геосинклиналях («Закон Ога»). Именно эти его идеи активизировали развитие геотектоники и теории геосинклиналей, а также седиментационно-палеогеографические исследования и изучение цикличности.

В геотектонике развивается ряд принципиально новых положений. Получает оформление теория шарьяжей, наиболее полно сформулировавшаяся на IX сессии МГК в Вене (1903). Хоббс вводит понятие о линеаментах – весьма протяженных разрывных структурах и элементах рельефа. А. Вегенером (1912, 1915), а также Ф.Б. Тейлором (1910) провозглашены идеи мобилизма – дрейфа материков, которые первоначально не нашли сколько-нибудь значительной поддержки. Изучение тектонических движений стало причиной рождения многочисленных гипотез, среди которых были представления о пульсациях Земли (1902, 1934, 1933–1939, 1940), растекании земной коры (1927), глубинной дифференциации вещества (1933, 1942 и др.), подкоровых течениях, конвекции и магматических перемещениях сложного генезиса (1919, 1929, 1933–1958, 1947), радиомиграционных и радиоактивных циклах (1925, 1942–1943), расширяющейся Земле (1933–1946), а также модернизации гипотез изостазии и контракции.

Особый резонанс получило учение Г. Штилле о тектонических фазах, сформулированном им «Орогенном законе времени» (1924). Его представления о периодически проявляющейся активизации складкообразовательных процессов изучались и развивались одной группой исследователей и резко критиковались другими (Н.С. Шатский, 1937). Периодичность и цикличность тектонических, седиментационных, палеогеографических и др. процессов как универсальная черта историко-геологического развития были вопросами углубленного изучения для Д.Н. Соболева (1914, 1926,

1935 др.). Теория геосинклиналей активно развивалась в СССР (М.М. Тетяев, Е.Н. Милановский, В.В. Белоусов и др.). Структурно-геологические работы сопровождались подготовкой большого количества учебников, среди которых наибольшую известность получили работы М.А. Усова (1935), А.С. Моисеева (1939), В.Н. Вебера, В.А. Апродова (1952), В.В. Белоусова.

Крупным научным разделом геологии становится литология, развитие которой идет по разным направлениям – изучение седиментационной цикличности (флишевой, угленосной, ледниковой), современных процессов осадконакопления (А.Д. Архангельский, Н.М. Страхов), фаций (Д.В. Наливкин). Появляется ряд фундаментальных учебников по петрографии осадочных пород и литологии (М.С. Швецов, Л.Б. Рухин). Оформление литологии как самостоятельной науки связывается обычно с работой Л.В. Пустовалова (1940), который формулирует закон периодичности осадконакопления, положение о дифференциации вещества в этом процессе. Большое значение для построения теории осадочного процесса имела проведенная в СССР в 1952 г. литологическая дискуссия, в которой активное участие принимали Н.М. Страхов, Л.В. Пустовалов и др.

Как самостоятельная наука оформляется геохимия, развивающаяся на стыке геологических и химических направлений изучения Земли. Ее формирование начинается еще в конце XIX века, когда Ф.У. Кларк (1889) опубликовал результаты подсчета химического состава земной коры. Оформление этой науки у нас обычно связывается с именем В.И. Вернадского (1927) его ученика А.Е. Ферсмана (1933–1939), а также В.М. Гольдшмидта (законы геохимического распределения элементов в Земле), А.П. Виноградова, Б.Б. Польшова, А.А. Саукова и др. Эти и другие работы подготовили основу для развивавшихся впоследствии геохимических методов поисков, формирования представлений о биосфере.

Определенных успехов добились региональная и историческая геологии, базировавшиеся на продолжающемся обширном геокартировании. Результатом региональных геологических исследований становится появление крупных сводок по геологии СССР (А.Д. Архангельский, 1932–1933; А.Н. Мазарович, 1938), Сибири (В.А. Обручев, 1935–1938; М.А. Усов), Китая (Ли Сыгуан, 1939), Индии и Бирмы (М. Кришнан, 1954). В течение этапа подготовлены фундаментальные работы по геологии Европы (С. Бубнов, 1926–1936) и Северной Америки (Ирдли; Ф.Б. Кинг, Г.М. Кей, 1951), мировая сводка «Стратиграфическая геология» М. Жинью (1925). Важную роль в обобщении и анализе регионально-геологической информации имели проводимые сессии Международного Геологического Конгресса (МГК), что наиболее выразительно проявилось на примере XVII его сессии в 1937 г. в Москве (подготовка геологической карты, разработка маршрутов и путеводителей, обобщающие доклады и т. д.). Появляется ряд крупных учебников по истории геологического развития СССР и исторической геологии (А.П. Павлов, 1936; Н.М. Страхов, 1938; М.К. Коровин 1940; А.Н. Мазарович, 1951–1952), по палеогеографии (Л.Б. Рухин, 1949).

Резко активизировалось проведение гидрогеологических работ, а также тесно связанных с ними направлений инженерной геологии, геокриологии. Появляются первые учебники (П.Н. Чирвинский, 1922; Ф.П. Саваренский, 1933; Лебедев, 1936 и др.), многочисленные работы по минеральным водам. Разработана схема широтной поясной зональности подземных вод (Отоцкий, 1914; Ильин, 1933). В связи с освоением северных районов появляются гидрогеологические работы по зонам вечной или многолетней мерзлоты; создаются институты мерзлотоведения в СССР, Арктический институт в США и Канаде. В.И. Вернадским подготовлена работа «История подземных вод» (1933–1936). Гидрогеологические специальности и кафедры создаются во многих вузах СССР.

Активизация поисково-разведочных работ на различные полезные ископаемые сопровождалась появлением учебников и крупных монографий по геологии рудных ископаемых (К. Богданович, 1913; В.А. Обручев, С.С. Смирнов, 1937; А.Г. Бетехтин, 1936), геологии каустобиолитов, а также геологии нефти и газа (И.М. Губкин, 1932, 1940; П.И. Степанов, 1937, 1947). Появляются учебники и сводки по основам металлогении, учения о структурах рудных полей и месторождений, основах поисков и разведки рудных полезных ископаемых (Л.А. Делоне, 1907, 1913; В. Эммонс, 1933; А. Холмс, 1928; Ю.А. Билибин, Крейтер, Е.Т. Шаталов).

Наконец, первая половина XX ст. была временем весьма активных споров и дискуссий. Критика канона орогенических фаз Г. Штилле возобновила споры о катастрофизме и эволюции, неокатастрофических взглядах, которые в это время обсуждались главным образом на данных геологического, а не палеонтологического материала. Менее значительной была дискуссия о происхождении гранитов, которая предполагала собственно интрузивное их происхождение и метасоматическое («осадочное», которое базировалось на существовании гранитогнейсовых образований). Споры о шарьяжах в СССР почти не было; они просто отрицались, так как Альпийско-Карпатский регион был недоступен для наших специалистов. Наконец, появляются

представления о неорганическом происхождении нефти, которые на следующем этапе стали предметом достаточно энергичных дискуссий.

Таким образом, в целом этап может рассматриваться как время весьма разносторонних геологических исследований, которые знаменуют резко выраженную дифференциацию наук о Земле. Еще одной особенностью данного времени стало начало подготовки многочисленных геологических кадров, которые обеспечили всплеск или максимум интереса к геологическим работам и наукам к середине XX ст. Геология приобрела современный облик и черты, стала наиболее крупным направлением наук о Земле, мощным фактором промышленно-производственного прогресса.

1.6 Современный (новейший) этап развития геологии

Он начался со второй половины XX ст. и по времени совпадает с событием, получившим название научно-технической революции (НТР). Суть последней заключается в совпадении крупнейших революционных достижений в области техники (использование атомной энергии, начало космических исследований, широкое внедрение новой вычислительной техники и др.) с обоснованием важнейших положений революционного характера в области наук о Земле. Среди последних было утверждение идей новой глобальной тектоники (НГТ), новых представлений об истории развития океанов, широкое использование данных изотопной датировки и дистанционных методов изучения земной поверхности. Среди важнейших особенностей современной геологии и рассматриваемого интервала времени необходимо назвать следующие.

Резко активизируется международное сотрудничество в области наук о Земле, которое носит уже принципиальный иной характер. Это не только международные совещания и обмен научной информацией, но и проведение совместных исследований по единой планируемой и координируемой программе. Примерами такого сотрудничества может быть проведение в течение 1957–1959 гг. Международного геофизического года, Международного гидрологического десятилетия (1964–1974), Международной программы геологической корреляции (МПК), программы «Литосфера», глубоководного бурения в океанах и др., в выполнении которых приняли участие ученые разных стран.

Начавшиеся космические исследования позволили предложить принципиально новое направление структурно-геологических исследований, которое получило название дистанционного зондирования. Наблюдение со спутников и космических кораблей, получение космоснимков и др. информации дали возможность обосновать широкое распространение импактных структур и различного рода линеаментов, нуклеаров, колец и других пока еще не полностью расшифрованных сигналов, доказать горизонтальное перемещение крупных материковых участков, производить непрерывное изучение геодинамических процессов литосферы.

Изучается и уверенно обосновывается активное воздействие космоса на развитие Земли: космическая бомбардировка планеты крупными телами, которая неоднократно имела место в прошлом, поступление рассеянного метеоритного вещества и эпизодические энергетические воздействия, возможность связывать циклическое геотектоническое развитие с движением и событиями в Солнечной системе и Галактике. На базе подобных исследований сформировались такие научные направления и положения, как планетология, геокосмология, квантовая парадигма геологии, метеоритика, учение о коптогенезе и др. Вместе с тем, геологические данные и методы используются астрономией при изучении Луны, планет Солнечной системы.

Активное использование результатов изотопного определения абсолютного возраста горных пород коренным образом изменило характер исторической геологии, позволило ввести количественные расчеты в геодинамику (скорость перемещения отдельных литосферных плит и др.), палеогеографию, седиментационную цикличность. На базе таких данных как самостоятельная наука оформилась геохронология, появилась возможность становления современной петрологии, палеомагнитологии, геодинамики. Изотопная датировка горных пород увязывается с данными традиционной стратиграфической шкалы; разрабатываются новые методы стратиграфии – магнитостратиграфия, климатостратиграфия, циклостратиграфия, событийная стратиграфия. Геология как единственная наука, изучающая историю природы, приобретает ведущую роль в палеоэкологии, изучении истории Земли, естествознания в целом.

Начало рассматриваемого этапа характеризовалось резким возрастанием масштабов геологической съемки и картосоставительских работ, охватывающих разные площади и проводимые в разных масштабах: средне- и крупномасштабные, региональные, обзорные. На базе геологических карт составляются тектонические, формационные, прогнозно-геологические, геоморфологические, гидрогеологические, палеогеографические и другие специальные трактовки геологической

информации. Результатом подобных работ, охвативших огромные площади и разные страны, было создание различного рода регионально-геологических сводок. Их примерами могут быть 50-томные выпуски «Геологии СССР», монографии по геологии Африки, отдельных стран, тектонических структур.

В области геотектоники в течение 50–60-х гг. XX в. активно развивается такое направление исследований, как изучение и обобщение результатов в форме создания различных схем классификации тектонических движений, учение о глубинных разломах, материковых рифтах. Региональное изучение таких тектонических структур опередило и в каком-то отношении дополнило неомобилистские представления, развиваясь как альтернатива НГТ (новой глобальной тектоники). В частности, данные о крупных горизонтальных перемещениях легли в основу представлений о расслоении земной коры (А.В. Пейве), блоковом ее строении и др.

Из бывшей петрографии осадочных пород выделилось такое крупное направление геологии, как литология (седиментология), изучавшая осадочные формации, седиментационную цикличность, седиментационные бассейны, теорию литогенеза. Появляются историко-геологические направления литологии (осадконакопление в разные периоды истории Земли и общая эволюция этого процесса, учение о седиментационно-палеогеографических рубежах, площадном перераспределении во времени однотипных формаций).

В числе особенностей современного этапа развития геологии необходимо назвать обширные работы по изучению океанов, занимающих почти три четверти поверхности планеты. Здесь проведены огромные объемы геофизических, буровых, стратиграфических, литологических и геодинамических исследований, в которых приняли участие ученые разных стран. Изучение седиментационных и геодинамических процессов позволило не только обосновать новые научные направления (океанология, геология морей и океанов), но и сформулировать положения новой глобальной тектоники, разработать модель развития геосинклиналей и платформ. Геологический аспект океанологических исследований сводился и к изучению возможности использования минеральных ресурсов океанов (их конкреции в частности), выявлению характера процессов рудообразования.

С середины 60-х гг. XX в. оформляются представления новой глобальной тектоники (НГТ), или тектоники литосферных плит, которые к настоящему времени стали господствующими идеями неомобилизма. Это учение определяется зачастую как революционное, позволяющее решать многие вопросы исторической геологии, океанологии, структурной геологии, геодинамики. На базе таких представлений или с их учетом делаются попытки прогнозировать поиски полезных ископаемых, геологические процессы в литосфере, разрабатывать модель взаимоотношения материков и океанов, трактовать геологическую сущность понятия «геосинклиналь». На базе геохимии, сформировавшейся на стыке наук о Земле и веществе земной коры, развиваются многочисленные и разнообразные геохимические методы поисков различных полезных ископаемых – как рудных, так и нерудных, в том числе нефти и газа. Среди первых необходимо назвать металлометрическую съемку, биохимические поиски, геохимический прогноз, дистанционные геохимические исследования, а среди нефтегазовых – литогеохимические поиски, газовую съемку, геохимическую характеристика нефтегазовых бассейнов.

Качественно новым становится изучение геологии рудных месторождений. В 60–80-е гг. прошлого века как важное самостоятельное направление геологических исследований оформляется и развивается металлогения. Оформилось несколько самостоятельных школ металлогенических исследований – европейская, американская, советская. В последней активную роль играли геологи Казахстана, Сибири, Дальнего Востока. С металлогенией тесно связано развитие прогнозно-геологических работ, составление металлогенических и прогнозно-геологических карт.

С середины XX ст. в СССР активно развивается неотектоника, или изучение новейших и современных тектонических движений. Эти работы связаны, в новую очередь, с такими специалистами, как В.А. Обручев, Н.И. Николаев, С.С. Шульц. Данные исследования базируются и увязываются с геотектоникой, геоморфологией, геодинамикой, инженерной геологией, сопровождаются составлением специальных карт. В последнее время геотектонические исследования становятся составным элементом экогеологических работ. В геоморфологии важное значение приобретает изучение различных морфоструктур, базирующееся, в значительной степени, на материалах дистанционного зондирования.

Со второй половины рассматриваемого этапа оформляется геодинамика – крупное комплексное направление изучения литосферы. Оно, в значительной степени, базируется на представлениях НГТ; в рамках таких исследований разрабатываются методы палинспастических

реконструкций, палеомагнитного анализа, составляются специальные геодинамические карты и схемы. В разработке данного направления принимают участие не только, а иногда и не столько геологи, но и физики, геофизики, математики.

В области структурной геологии важная роль уделяется изучению рифтов процессов рифтогенеза, различного рода шовных зон, сдвиговых разрывных нарушений, глубинных разломов, тектонического меланжа, геоблоков (микроплит). В связи с запросами геологии нефти и газа активизируется проведение глубинного зондирования, базирующегося на данных буровых и геофизических работ. Важную роль в структурно-геологических исследованиях приобретают дистанционные методы исследований, геодинамические расчеты и реконструкции, методы геологических аналогий.

Наконец, с конца XX ст. начинается активное развитие экологической геологии – научного и практического направления, решающего вопросы и проблемы воздействия на недра активной геологической деятельности человека. Такое воздействие приводит к резкому нарушению окружающей среды, от которого резко страдает не только органический мир, но и человечество в целом. Среди главных направлений экологической геологии обособляются такие направления, как палеоэкология, воздействие природных техногенных процессов на развитие живого, проблемы обеспеченности человечества минеральным сырьем и охрана недр. В первую очередь, ее подземных вод.

В целом, можно говорить о сокращении чисто геологических исследований с конца этапа, за последние два-три десятилетия. Выявлено огромное количество месторождений полезных ископаемых и подсчитаны их запасы, изучено вещество земной коры, ее строение, история развития, формирующие ее процессы. Внимание обращается на доразведку, более полное извлечение нужных компонентов из недр, решаются вопросы рационального выбора месторождений для эксплуатации или нового вида сырья. Создается впечатление, что традиционная геология исчерпала свои возможности. Кстати, подобное явление характерно не только для нее, но и для всех или большинства наук естествознания. Это продиктовано повышенным практицизмом нынешнего времени в условиях высокого уровня развития таких наук в целом.

Вместе с тем, детализируются многие геологические положения, формируются новые учения и направления на стыке геологии с другими науками естествознания, устанавливается, что без геологических знаний невозможно рациональное и грамотно организованное природопользование, освоение недр. Почти прекратились «великие геологические споры», потому что выяснено, что истина отвечает не диаметрально противоположным положениям, а какому-то компромиссу, «золотой середине». Историческая геология, которая была основным врагом религии, дает возможность изучать природные катастрофы прошлого, точно их датировать и в ряде случаев прогнозировать проявление подобного на будущее. Возможно, что геология вступает в новый, качественно отличный этап своего развития и будет искать новые направления и вопросы для своего изучения и решения.

2. МИНЕРАЛЫ

Минералогия – одна из старейших наук о Земле, изучающая минералы. В настоящее время минералогия превратилась в космическую науку, т.к. минералы присутствуют всюду: из них состоит земная кора, Луна, метеориты. **Минералы** – это природные химические соединения (CaCO_3 , SiO_2 , Fe_3O_4 и др.) или самородные элементы (Au, Cu, S, C и др.), которые образовались в результате различных физико-химических процессов, происходящих в глубине Земли либо на ее поверхности.

Минералами же называют и искусственно получаемые соединения, т.к. они имеют кристаллическую структуру и обладают свойствами минералов.

Большинство минералов твердые, реже встречаются жидкие (вода, самородная ртуть) и газообразные (природные газы: метан, сероводород, и др.). Минералогия преимущественно изучает твердые минералы, представляющие собой аморфные и кристаллические тела. В аморфных телах элементарные материальные частицы распределены беспорядочно, что обуславливает у них постоянство физических свойств по всем направлениям, т.е. их **изотропность**. К аморфным минералам относится опал, янтарь и др. В кристаллических телах частицы распределены закономерно и образуют пространственную кристаллическую решетку. Зависимость физических свойств кристаллических тел от направления в кристаллической решетке называется **анизотропностью**.

Химический состав минералов обычно изображается в виде структурных формул, в которых присутствуют катионы и анионные комплексы (радикалы). В формулах радикалы ставятся в квадратных скобках. Например, структурная формула граната (гроссуляра) – $\text{Ca}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_2$, в которой $[\text{SiO}_4]$ – радикал, а Ca_3Al_2 – катионы.

По химическому составу все минералы объединяются в две группы: 1) минералы постоянного состава; 2) минералы переменного состава. К первым относятся такие, состав которых практически неизменен. Например, галит NaCl содержит 39,8 % Na, 60,6 % Cl. Минералы переменного состава представляют собой изоморфные смеси двух и более компонентов. Так, вольфрамит является смесью двух компонентов: ферберита $\text{Fe}[\text{WO}_4]$ и гюбнерита $\text{Mn}[\text{WO}_4]$. Поэтому формула вольфрамита ($\text{Fe, Mn}[\text{WO}_4]$) показывает, что количества Fe и Mn непостоянны. Наличие запятой в формуле свидетельствует о непостоянстве состава. Изоморфные смеси особенно типичны для силикатов.

Изоморфизм – это свойство атомов одного химического элемента замещать в узлах кристаллической решетки атомы другого элемента с образованием гомогенного (однородного) смешанного минерала переменного состава.

Существует много методов определения минералов: микроскопический, химический, спектральный, рентгеноструктурный и др. Наша задача – научиться определять минералы наиболее доступным методом – макроскопическим, т.е. визуальным. В этом случае минерал определяют по главнейшим внешним признакам или физическим свойствам, присущим каждому минералу, которые можно различить невооруженным глазом.

Основными физическими свойствами минералов являются следующие: форма и облик кристаллов и кристаллических агрегатов, цвет минерала и цвет его черты, блеск, прозрачность, спайность, излом, твердость, удельный вес (плотность), хрупкость, ковкость, гибкость, упругость, магнитность, двойное лучепреломление, побежалость, вкус, запах, растворимость в воде и реакция с 10 %-й соляной кислотой, иризация, штриховка на гранях.

2.1 Морфологические особенности минералов и их агрегатов

Геометрически правильная форма кристаллов минералов (**идиоморфная**) является в большинстве случаев надежным диагностическим признаком.

По внешнему облику (**габитусу**) среди кристаллов минералов выделяют три группы: 1) кристаллы, одинаково развитые в трех направлениях и имеющие форму куба, октаэдра, ромбододекаэдра (пирит, гранаты, магнетит, галенит, флюорит и др.); 2) кристаллы, вытянутые в одном направлении (по главной оси) – призматические, игольчатые, столбчатые, волокнистые (турмалин, актинолит, берилл, гипс-селенит); 3) кристаллы, вытянутые в двух направлениях при сохранении третьего короткого – таблитчатые, пластинчатые, листовые и чешуйчатые (слюды, хлориты и др.).

Для многих минералов характерны определенные формы выделений кристаллических агрегатов, зависящие от природных условий кристаллизации. Поэтому формы кристаллических агрегатов могут быть использованы для диагностики некоторых минералов.

Минеральным агрегатом называется форма проявления минерала в природе. По количеству минералов, слагающих агрегат, различают агрегаты мономинеральные, сложенные одним тем же минералом, и полиминеральные, сложенные двумя или несколькими минералами. При резком

изменении термодинамических условий происходит быстрая кристаллизация вещества, даже в лупу не удастся увидеть отдельные кристаллы в образовавшемся минеральном агрегате. Такую форму выделений называют *скрытокристаллической*. Среди явно кристаллических минеральных агрегатов чаще всего встречаются **зернистые выделения**, сложенные кристаллическими зернами. По размерам зерен выделения бывают *мелкозернистые* (менее 1 мм), *среднезернистые* (1 – 5 мм) и *крупнозернистые* (более 5 мм), *гигантозернистые* (более 20 мм). Зернистые минеральные агрегаты характеризуются изометричной формой зерен минералов. Если же зернистые агрегаты не выдерживают этого условия, то их называют листовыми, чешуйчатыми, игольчатыми, волокнистыми и т.д. Помимо зернистых выделений в природе часто встречаются друзы, секреции, конкреции, натечные формы, землистые массы, налеты, примазки, выцветы, корки.

Друзы – незакономерное срастание кристаллов, выросших на поверхность. Кристаллические щетки отличаются от друз тем, что кристаллы располагаются параллельно друг другу.

Секреции образуются в результате выполнения веществом пустоты в природе. Секреция растет от периферии к центру, причем пустота может быть выполнена полностью или частично, для них характерно концентрически-зональное строение. Крупные секреции (более 10 мм) называют *жеодами*, мелкие (менее 10 мм) – *миндалинами*.

Конкреции представляют собой близкие к сферическим стяжения и желваки (марказит, фосфориты). В отличие от секреций конкреции разрастаются от центра к периферии, и выделения имеют в поперечном сечении радиально-лучистое или концентрически-зональное строение. Мелкие конкреции (до 10 мм) с явно выраженной концентрической зональностью называют *оолитами*, а при ее отсутствии – *псевдооолитами*, или *бобовинами* (бокситы).

Натечные формы образуются в результате кристаллизации медленно протекающих истинных или чаще коллоидных растворов при испарении в пустотах. К таким формам относятся образования в кровле и на дне пещер – сталактиты и сталагмиты (кальцит). Встречаются почковидные, гроздевидные и другие натечные формы самого разнообразного облика (малахит). При кристаллизации в тонких трещинах некоторые минералы (оксиды марганца, золота, самородная медь и др.) образуют так называемые *дендриты*, напоминающие ветви деревьев.

Землистые массы напоминают по внешнему виду рыхлую почву (каолинит, пиролюзит) – мучнистые образования типа сажи различной окраски.

Налеты и примазки представляют собой тонкие пленки минералов с неразличимой кристаллической структурой.

Некоторые минералы имеют вид закономерно сросшихся кристаллов (*двойники, тройники*) и образуются в результате прорастания или срастания кристаллов (*гинс, флюорит, кальцит* и др.).

Иногда минералы принимают несвойственную им форму, образуя точную копию другого минерала. Такие формы называют *псевдоморфозами* (ложными формами). Простейшим примером являются псевдоморфозы лимонита по пириту.

2.2 Физические свойства минералов

Главнейшие внешние признаки минералов (физические свойства) следующие: цвет, блеск, цвет черты, прозрачность, побежалость, иризация и двойное лучепреломление, излом, спайность, твердость, хрупкость, упругость, ковкость, плотность, магнитность, растворимость в воде и кислоте, вкус и запах.

Цвет у минерала может быть самый различный – белый, серый, розовый, желтый, красный, зеленый, синий, черный, причем всевозможных оттенков. Кроме того, минералы могут быть и совершенно бесцветными, прозрачными (горный хрусталь, прозрачная разновидность кальцита – исландский шпат и др.).

Окраска минералов определяется на глаз, путем сравнения с хорошо знакомыми предметами (молочно-белый, медно-красный, железо-черный и т.д.).

Различают у минералов **три типа окраски**: постоянная (*идиохроматическая*), непостоянная (*аллохроматическая*) и ложная (*псевдохроматическая*). Идиохроматическая окраска (малахит, магнетит и др.) зависит от химического состава минерала и наличия примесей элементов, называемых *хромофорами*, т.е. носителями окраски. Такими элементами являются Fe, Ni, Co, Ti, Cu, Cr и др.

Аллохроматическая окраска минералов обусловлена наличием механических примесей (примесь тонкодисперсного углистого вещества окрашивает кальцит в черный цвет, а красно-бурый цвет галита (поваренная соль) объясняется присутствием механических примесей гидроксидов железа).

Псевдохроматическая, или ложная, окраска обусловлена наличием особых цветовых эффектов (иризация у лабрадора вызвана присутствием тонких пленок минерала ильменита, располагающихся по трещинкам спайности). Интерференция света на этих пленках и придает лабрадору красивую

радужную окраску (обычно синего цвета).

Иногда, кроме основной окраски минерала, тонкая поверхностная пленка окисления имеет дополнительную окраску – побежалость (серая у киновари, малиново-фиолетовая у халькопирита, индигово-синяя у борнита).

Цвет черты или цвет минерала в тонком порошке часто не совпадает с цветом минерала в образце. Например, у соломенно-желтого пирита цвет черты черный, у железно-черного гематита вишнево-красная черта, а черный хромит имеет желто-бурый цвет черты. Для таких минералов цвет черты является диагностическим свойством.

Чтобы получить черту, нужно исследуемым минералом провести по матовой фарфоровой пластинке, называемой «*бисквитом*». Твердость бисквита 6,0-6,5, поэтому с твердостью выше 6,5 образуют на пластинке царапины.

Блеск – это способность минералов отражать падающий на них свет. По блеску минералы делят на две группы: минералы с металлическим блеском (как у свежей поверхности металлов, например, свинца) и минералы с неметаллическим блеском.

Минералы с металлическим блеском непрозрачны, на фарфоровой пластинке оставляют темноокрашенную черту (самородные металлы, многие сульфиды и оксиды железа). Выделяют также минералы с полуметаллическим, или металлоидным блеском (как у потускневших металлов – графит, гематит).

Наиболее многочисленна группа минералов с *неметаллическим* блеском. Выделяют следующие разновидности неметаллического блеска: жирный, или маслянистый (шеелит – поверхность минерала как бы смазана жиром); стеклянный (кварц, гипс, кальцит – поверхность минерала блестит как стекло); алмазный (сфалерит, киноварь – поверхность минерала искрится); шелковистый (асбест, гипс-селенит); перламутровый (слюда – поверхность минерала переливается разными цветами) и матовый (боксит, каолинит – поверхность минерала неблестящая).

Прозрачность характерна для минералов с неметаллическим блеском. Выделяют прозрачные (сквозь них видны буквы), полупрозрачные (видны строки, слова неразборчивы), просвечивающие (пропускают свет при рассматривании минерала против яркого света) и просвечивающие в тонких краях.

Явление двойного лучепреломления наблюдается у исландского шпата (прозрачная разновидность кальцита), через кристалл которого можно увидеть двойное изображение предмета: одно отчетливое, другое – расплывчатое.

Спайность – свойство минерала раскалываться по определенным кристаллографическим направлениям с образованием зеркально-гладких поверхностей, называемых плоскостями спайности. Спайность может проявляться в одном, двух, трех, четырех и шести направлениях. Выделяют следующие виды спайности: *весьма совершенная* – кристалл легко расщепляется на тонкие листочки с идеально гладкими блестящими поверхностями (слюда, гипс); *совершенная* – кристалл в любом месте колется, образуя ровные поверхности, неровные поверхности получаются крайне редко (кальцит, галит, галенит); *средняя* – кристалл при расколе образует как плоскости спайности, так и неровные поверхности (полевые шпаты, роговая обманка); *несовершенная* – кристалл при расколе дает неровные поверхности (апатит, оливин); *весьма несовершенная* – кристалл имеет неровные поверхности при расколе, практически спайность отсутствует (кварц, касситерит).

Излом – неровная поверхность раскола, прошедшая в минерале не по спайности. Известны виды излома: *раковистый* – у минералов поверхность раскола напоминает раковины (опал, халцедон, вулканическое стекло); *занозистый* – у минералов с игольчатым или волокнистым строением (актинолит, гипс-селенит); *ступенчатый* – у минералов с совершенной спайностью (галенит и полевой шпат); *землистый* – у каолинита.

Твердость – способность минералов сопротивляться механическим воздействиям – царапанью, резанью. Для определения твердости применяют шкалу Мооса (табл. 2.1). Шкала состоит из 10 минералов, расположенных в порядке возрастающей твердости от 1 до 10, каждый последующий минерал царапает все предыдущие, а сам царапается всеми последующими.

С помощью образцов из этой шкалы можно определить твердость минерала, царапая его гладкую поверхность. Если минерал не имеет гладкой поверхности, то им царапают по очереди каждый образец шкалы.

Если определенный минерал царапается ортоклазом (твердость 6), но не царапается апатитом (твердость 5), то его твердость выше, чем у апатита, но ниже, чем у ортоклаза. Можно считать условно твердость минерала 5,5. Минералы с высокой твердостью применяются для полировки металлов, горных пород и минералов (изготовление абразивных материалов).

Таблица 2.1 Шкала твердости Мооса

№ п/п	Шкала Мооса		Шкала заменителей
	Минерал	Твердость	
1	Тальк	1	Карандаш М-ТМ
2	Гипс	2	Ноготь, игла алюминиевая
3	Кальцит	3	Монета медная
4	Флюорит	4	Игла железная
5	Апатит	5	Стекло оконное
6	Полевой шпат	6	Лезвие ножа, бритва
7	Кварц	7	Напильник
8	Топаз	8	Нет
9	Корунд	9	Кроме его разновидностей, других минералов твердостью 9 нет
10	алмаз	10	Единственный минерал с твердостью 10

Ковкость, т.е. вязкость. При определении данного свойства следует помнить, что ковкие минералы (самородные – золото, серебро, медь; сульфиды – халькозин) при ударе сплющиваются; при царапании не образуют порошка по краям бороздки, а дают завальцованную канавку (блестящий след). На бисквите они оставляют металлически-блестящую черту.

Хрупкость определяется возникновением трещин при ударе по минералу. Хрупкие минералы крошатся (пирит, гипс, пендландит).

Гибкость – способность минерала сгибаться, не давая излома.

Упругость – свойство гибких минералов распрямляться после того, как будет прекращено сгибание.

Гибкостью и упругостью обладают немногие минералы. Так, листочки слюды очень гибки и упруги: хорошо сгибаясь, они по прекращении сгибания снова сами собой распрямляются. Листочки талька очень гибки, но не упруги: хорошо сгибаясь, они не распрямляются.

Магнитность минералов определяется при помощи магнитной стрелки компаса, которая притягивается или отталкивается при поднесении к ней магнитных минералов (магнетит).

Вкус характерен для некоторых хорошо растворимых в воде солей: галит имеет соленый вкус, а сильвин – горько-соленый, слегка щиплет язык.

Запах довольно характерное свойство для самородной серы при ее горении, а у минерала арсенопирита при ударе ощущается чесночный запах.

Реакция с 10 %-й соляной кислотой является характерным диагностическим свойством для минералов класса карбонатов. Если капнуть на минерал кислотой, он вспенивается, «шипит» вследствие бурного выделения пузырьков углекислого газа. Причем, кальцит активно «вскипает» в куске от холодной кислоты, доломит – только в порошке; магнезит и анкерит – только с подогретой кислотой, а на кусочке сидерита от капли соляной кислоты образуется буровато-зеленоватое пятно выделившегося хлористого железа.

Плотность точно определяется при наличии точных весов и специальных жидкостей в граммах на 1 см³. Мы же ограничиваемся более простым и примитивным способом – сравнительным взвешиванием минерала на ладони. Принято делить минералы по плотности на три группы: *тяжелые*, *средние* и *легкие*. К *тяжелым* относят все рудные минералы с плотностью от 4 г/см³ и более (пирит, гематит, магнетит, галенит и др.), из нерудных сюда относится барит – «тяжелый шпат» с плотностью 4,7 г/см³. К *средним* – породообразующие минералы с плотностью от 2,5 до 4 г/см³ (кварц, кальцит, полевые шпаты, слюды и т.д.) и, наконец, к *легким* – минералы с плотностью до 2,5 г/см³ (гипс, галит, сильвин, самородная сера и др.).

2.3 Классификация и характеристика минералов

Современная классификация минералов основывается на химическом составе и кристаллической структуре вещества. По химическому составу и кристаллическому строению все известные минералы разбиваются на несколько классов, из которых важнейшими являются: 1 – самородные элементы, 2 – халькогениды, 3 – оксиды и гидроксиды, 4 – галогениды, 5 – оксасоли (карбонаты, сульфаты, фосфаты, вольфраматы, силикаты).

Перечень минералов, предусмотренных для изучения по программе курса, и их физические свойства сведены в таблицу – определитель (табл. 2.2).

Таблица 2.2 Характеристика минералов

№ п/п	Название минерала, формула	Сингония	Морфология кристаллов и агрегатов	Цвет	Цвет черты	Блеск	Спайность, излом	Твердость	Плотность	Диагностические признаки	Применение
Класс 1. Самородные Элементы											
1	Золото Au	Кубическая	Кристаллы редко, неправильной формы зерна, самородки, дендриты, пластины, нити	Золотисто-желтый	Золотисто-желтая, блестящая	Металлический	-, Крючковатый	2,5-3,0	15,6-18,0	Золотисто-желтый цвет, низкая твердость, большая ковкость, высокий уд. вес	В валютном, ювелирном, медицине, приборостроении
2	Медь Cu	То же	То же	Медно-красный	Медно-красная, блестящая	То же	-, занозистый, крючковатый	2,5-3,0	8,4-8,9	Медно-красный цвет, низкая твердость, ковкость	В электронике, машиностроении
3	Алмаз C	-«-	Октаэдрические кристаллы	Бесцветный	-	Алмазный	Средняя, -	10	3,5	Форма кристаллов, высокая твердость, хрупкость, блеск	В ювелирном деле, технике
4	Графит C	Гексагональная	Тонкочешуйчатые пластинки и листочки	Стально-серый до черного	Серовато-черная, блестящая	Металловидный	Совершенная в одном направлении, -	1	2,2	Цвет, низкая твердость, жирный, пачкает руки, пишет	Для производства тиглей, в литейном деле и др.
5	Сера S	Ромбическая	Кристаллы и землистые массы	Лимонно-желтый, медово-желтый	Бесцветная, желтоватая	Алмазный, жирный	-, раковистый	1-2	2,1	Цвет, блеск, низкая твердость и уд. вес, хрупкость	В резиновой, химической промышленности, медицине и др.
Класс 2. Халькогениды											
6	Халькозин Cu ₂ S	Ромбическая	Зернистые массы, редко кристаллы	Свинцово-серый	Черная	Металлический	-, раковистый	2,5-3,0	5,5-5,8	Цвет, низкая твердость, ковкость	Богатая руда на медь
7	Галенит PbS	Кубическая	Зернистые массы	То же	Серовато-черная	То же	Весьма совершенная по кубу, -	2-3	7,4-7,6	Цвет, блеск, спайность по кубу, низкая твердость, большой уд. вес	Важнейшая свинцовая руда
8	Сфалерит ZnS	Кубическая	Сплошные землистые массы	От черного до коричнево-красно-	Бурая, желтая, светлая	Алмазный	Весьма совершенная в 6 направлениях	3-4	3,5-4,2	Изометричная форма зерен, спайность, бурая черта	Главная цинковая руда, попутно извлекают

№ п/п	Название минерала, формула	Сингония	Морфология кристаллов и агрегатов	Цвет	Цвет черты	Блеск	Спайность, излом	Твердость	Плотность	Диагностические признаки	Применение
				зеленого							кадмий, индий
9	Киноварь HgS	Тригональная	Кристаллы редки, чаще в виде вкрапленных неправильных зерен: иногда сплошных масс	Красный, иногда с свинцово-серой побежалостью	Красная	То же	Совершенная, -	2,0-2,5	8,1-8,2	Красный цвет, низкая твердость, спайность и высокий уд. вес	Руда на ртуть
10	Пирротин Fe _n S _(n+1)	Моноклиная	Обычно сплошные зернистые массы	Темный бронзово-желтый	Серовато-черная	Металлический	-	4,0	4,6-4,7	Бронзово-желтый цвет, часто устанавливаемые магнитные свойства	Как сырье для производства серной кислоты
11	Пентландит (Fe, Ni) ₉ S ₈	Кубическая	В виде неправильной формы зерен в пирротиновых рудах	Светлый бронзово-желтый	Черная с зеленоватым оттенком	То же	Совершенная, -	3-4	4,5-5,0	Более светлый оттенок, наличие спайности (отличие от пирротина)	Главный источник выплавления никеля
12	Антимонит Sb ₂ S ₃	Ромбическая	Призматическая, столбчатая, игольчатая форма с продольной штриховкой и сплошные зернистые агрегаты	Свинцово-серый	Свинцово-серая, при растирании приобретает буроватый оттенок	-«-	То же	2,0-2,5	4,5-4,6	Цвет, низкая твердость, вытянутость кристаллов, совершенная спайность вдоль удлинения и поперечная штриховка на плоскостях спайности	Антимонитовые руды являются главным источником сурьмы
13	Молибденит MoS ₂	Гексагональная	В виде гексагональных таблиц, обычно листовые или чешуйчатые агрегаты	То же	Серая, часто с зеленоватым оттенком	-«-	Весьма совершенная, -	1,0	4,7-5,0	Цвет, блеск, низкая твердость, спайность	Важнейшая руда на молибден. Попутно извлекают из руд рений
14	Пирит FeS ₂	Кубическая	В виде куба, пентагон-додекаэдра и другие (чаще	Светлый латунно-желтый	Черная	-«-	-, неровный	6,0-6,5	4,9-5,2	Цвет, форма кристаллов, штриховка на гранях, высокая	Основной вид сырья для получения серной кислоты

№ п/п	Название минерала, формула	Сингония	Морфология кристаллов и агрегатов	Цвет	Цвет черты	Блеск	Спайность, излом	Твердость	Плотность	Диагностические признаки	Применение
			сплошные зернистые массы)							твердость (царапает стекло)	
15	Арсенопирит FeAsS	Моноклиная	Призматические, типичные сплошные зернистые и шестоватые агрегаты	Оловянно-белый	Серовато-черная	Металлический	Ясная в одном направлении, неровный	5,5	5,9	-	Основное сырье для получения мышьяка и его соединений. Нередко в рудах есть примесь кобальта или золота
16	Халькопирит CuFeS ₂	Тетрагональная	Обычно сплошные зернистые массы и отдельные вкрапления зерен	Латунно-желтый с зеленоватым оттенком	Черная с зеленоватым оттенком	То же	-	3-4	4,1-4,3	-	Руды являются одним из главных источников меди
17	Борнит Cu ₅ FeS ₄	Кубическая	Сплошные массы и в виде вкраплений	Медно-красный, обычно с синей побежалостью	Серовато-черная	Полуметаллический	-	3	4,9-5,2	Цвет, пестрая синяя побежалость, низкая твердость и ассоциация минералов	Богатая руда на медь
Класс 3. Оксиды и гидроксиды											
18	Корунд Al ₂ O ₃	Тригональная	Боченковидная столбчатая, пластинчатая и сплошные зернистые массы	Синевато-серый, желтовато-серый, красный-рубин, синий сапфир	-	Стекланный	-, есть отдельность	9	4,0-4,4	Форма кристаллов, штриховка на гранях, синевато-серая окраска и высокая твердость	Абразивный и огнеупорный материал. Прозрачные окрашенные кристаллы представляют драгоценные камни
19	Гематит Fe ₂ O ₃	То же	Пластинчатая, чаще листовые, чешуйчатые и сплошные скрытокристаллические агрегаты	Стально-серый до черного, иногда матово-красный	Вишнево-красная, красновато-коричневая	Полуметаллический, матовый	-, полураковистый	5-6	5,0-5,3	Вишнево-красная черта, пластинчатые или чешуйчатые агрегаты и отсутствие	Важнейшая руда на железо

№ п/п	Название минерала, формула	Сингония	Морфология кристаллов и агрегатов	Цвет	Цвет черты	Блеск	Спайность, излом	Твердость	Плотность	Диагностические признаки	Применение
										спайности	
20	Касситерит SnO_2	Тетрагональная	Призматическая; чаще зерна неправильной формы, реже сплошные зернистые массы	Коричневый, бурый до смоляно-черного	Слабо окрашена в буроватые оттенки	Металлоподобный до смоляного, слегка жирного	-, полураковистый, неровный	6-7	6,3-7,2	Форма кристаллов, большой уд.вес., твердость, спутники	Руда на олово
21	Пирролюзит MnO_2	То же	Обычно сплошные кристаллические или скрытокристаллические, часто порошковатые и сажистые массы, оолиты	Черный	Черная	Полуметаллический или матовый	Совершенная, неровный	От 1-2 до 5-6	4,7-5,0	Отчетливая спайность (у кристаллов), очень хрупок, черный цвет. Землистые разновидности, пачкает руки	Важнейшая руда на марганец
22	Кварц SiO_2	Тригональная	Шестигранные призмы, дипирамиды с поперечной штриховкой, чаще зернистые скрытокристаллические массы	Белый, серый и др.	-	Стекланный, на изломе – жирный	-, раковистый, неровный	7	2,5-2,7	Облик кристаллов, отсутствие спайности, раковистый излом и высокая твердость. Разновидности: бесцветный – горный хрусталь, фиолетовый – аметист, дымчатый – раухтопаз, черный – морион, скрытокристаллический – халцедон	В оптике, радиотехнике, стекольной и керамической промышленности, в ювелирном деле и др.
23	Магнетит FeFe_2O_4	Кубическая	Октаэдрическая; чаще сплошные тонкозернистые массы	Железо-черный	Черная	Полуметаллический	-, неровный	5,5-6,0	4,8-5,3	Черный цвет, черная черта и сильная магнитность	Важнейшее сырье для выплавки чугуна и стали
24	Хромит FeCr_2O_4	То же	Октаэдрическая; обычно сплошные зернистые агрегаты	Черный	Бурая	Металлоподобный	То же	5,5-6,6	4,2-4,8	Черный цвет, бурая черта и тесная связь с ультраосновными	Единственная руда для выплавки феррохрома и

№ п/п	Название минерала, формула	Сингония	Морфология кристаллов и агрегатов	Цвет	Цвет черты	Блеск	Спайность, излом	Твердость	Плотность	Диагностические признаки	Применение
										породами	металлического хрома
25	Лимонит $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$	-	Натечные, почковидные, оолитовые формы или плотные, ноздреватые, порошковатые массы	Охряно-желтый, бурый до черного	Желто-бурая, бурая	Матовый, тусклый, полуметаллический	-	1,0-5,5	2,7-4,3	Форма выделения, окраска, бурая черта и постоянное присутствие желто-бурых охристых примазок	Важнейшее сырье для получения железа
26	Боксит (агрегат минералов)	-	Сплошные плотные и землистые массы, часто оолиты	Белый, серый, желтый, красный, коричневый и др.	Бледные цвета	Матовый, тусклый	-, землистый	1-5	2,5-3,5	Форма выделения, окраска, тусклый блеск. Боксит сухой на ощупь, в увлажненном состоянии не пластичен	Важнейшая руда на алюминий
27	Опал $SiO_2 \cdot nH_2O$	-	Аморфный, натечные формы, пористые массы, корочки, псевдоморфозы и др.	Белый, желтый, синий, бурый, и др.	-	Восковой, тусклый	-, раковистый (скорлуповатый)	5,5-6,5	1,9-2,3	Похож на халцедон, отличается меньшей твердостью	Наиболее ценен благородный опал. Используется опал в качестве ювелирных и поделочных изделий
Класс 4. Галогениды											
28	Галит NaCl	Кубическая	Кубическая, часто кристаллические, зернистые, иногда рыхлые массы	Бесцветный, белый, серый, синий, бурый, красный и др.	Белая	Стекланный, жирный	Весьма совершенная по кубу, -	2	2,1-2,2	Низкая твердость, весьма совершенная спайность по кубу, растворимость в воде и соленый вкус	Пищевой продукт, сырье для получения натрия, для химической промышленности
29	Сильвин KCl	То же	То же	То же	-«-	Стекланный	То же	1,5-2,0	2,0	Похож на галит, отличается по горьковато-соленому, жгучему вкусу	Идет на удобрение, меньше используется в химической промышленности

№ п/п	Название минерала, формула	Сингония	Морфология кристаллов и агрегатов	Цвет	Цвет черты	Блеск	Спайность, излом	Твердость	Плотность	Диагностические признаки	Применение
											и
30	Флюорит CaF_2	-«-	Кубическая, октаэдрическая; встречается в виде вкраплений, сплошных зернистых масс	Белый, зеленый, голубой, фиолетовый до черного	Белая, бледно-фиолетовая	То же	Совершенная по октаэдру, -	4	3,0-3,2	Форма кристаллов, спайность по октаэдру, слабый, слегка тусклый стеклянный блеск и твердость 4	В металлургии, в оптике, в химической промышленности
Класс 5. Карбонаты											
31	Кальцит $\text{Ca}(\text{CO}_3)$	Тригональная	Разнообразная, часто ромбоэдры; обычно сплошные плотные, зернистые, землистые массы	Бесцветный, белый, серый и др.	Белая	Стеклообразный	Совершенная по ромбоэдру, -	3	2,6-2,8	Спайность по ромбоэдру, низкая твердость и бурная реакция с соляной кислотой	В оптике (исландский шпат), в химической, резиновой, металлургической промышленности и др.
32	Магнезит $\text{Mg}(\text{CO}_3)$	То же	Ромбоэдрическая, чаще крупнозернистые агрегаты, иногда плотные (фарфоровидные) скрытокристаллические массы	Белый, серый	-«-	То же	То же, раковистый (у плотных разностей)	4,0-4,5	2,9-3,1	Спайность, твердость, форма кристаллов и агрегатов, реакция с нагретой соляной кислотой (вскипает с шипением)	В строительстве, в абразивной промышленности, в производстве электроизоляторов, бумажном и других производствах
33	Доломит $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	-«-	Ромбоэдры, иногда седловидно изогнутые, чаще сплошные зернистые (мраморовидные) или плотные массы	Белый, желтый, серый, буроватый	-«-	-«-	-«-, -	3,5-4,0	2,8-2,9	Спайность с изогнутыми плоскостями, низкая твердость и реакция в порошке с соляной кислотой	В строительном деле, в металлургической, химической промышленности и др.
34	Сидерит FeCO_3	Тригональная	Чаще скрытокристаллические агрегаты, натечные формы	Серый, желтый, бурый	Белая или желтоватая	Стеклообразный	То-же, раковистый (у плотных разностей)	3,5-4,0	3,9	Спайность, низкая твердость, от капли, нагретой соляной кислотой	Руда на железо

№ п/п	Название минерала, формула	Сингония	Морфология кристаллов и агрегатов	Цвет	Цвет черты	Блеск	Спайность, излом	Твердость	Плотность	Диагностические признаки	Применение
			или корки							вскипает с шипением	
35	Смитсонит $ZnCO_3$	То же	Призматическая, пластинчатая, шестоватая. Часто сплошные зернистые массы, реже натечные агрегаты	Белый, часто с различными оттенками	Белая	То же	-«-, -	5	4,1-4,5	Форма выделения, ассоциация минералов, реакция с соляной кислотой (иногда с шипением), повышенный уд.вес	Руда на цинк при значительных скоплениях
36	Церуссит $PbCO_3$	Ромбическая	То же	Белый, серый, буроватый	-«-	Алмазный, иногда стеклянный	Несовершенная, раковистый	3,0-3,5	6,4-6,6	Высокий уд.в., алмазный блеск, ассоциация минералов и бурная реакция в азотной кислоте	Ценная свинцовая руда, особенно в случаях развития мощных зон окисления
37	Азурит $2CuCO_3 \cdot xCu(OH)_2$	Моноклиная		Темно-синий в землистых массах-голубой	Голубая, синяя	Стеклянный, иногда матовый	Средняя, раковистый	3,5-4,0	3,7-3,9	Цвет, форма выделения, вскипание с соляной кислотой и ассоциация минералов	Руда на медь, для изготовления синей краски, как поделочный камень
38	Малахит $2CuCO_3 \cdot xCu(OH)_2$	То же	Обычно натечные формы с радиально-лучистым строением, корочки, примазки и землистые массы	Зеленый	Бледно-зеленая	Стеклянный до алмазного, у волокнистых разновидностей шелковистый	Средняя, неровный	3,5-4,0	3,9-4,1	Цвет, форма выделения, радиально-лучистое строение, бурная реакция с соляной кислотой и ассоциация минералов	Ценный поделочный камень, для изготовления краски, руда на медь
Класс 6. Сульфаты											
39	Барит $BaSO_4$	Ромбическая	Таблитчатая, пластинчатая, призматическая; агрегаты зернистые, реже скрытокристаллические	Белый, серый, красный, желтый, бурый и др.	Белая	Стеклянный	Совершенная в 3 направлениях (по граням призмы)	3,0-3,5	4,3-4,7	Совершенная спайность, нерастворимость в соляной кислоте, низкая твердость и большой уд.вес	В лакокрасочной промышленности, наполнитель в резиновой и бумажной

№ пп	Название минерала, формула	Сингония	Морфология кристаллов и агрегатов	Цвет	Цвет черты	Блеск	Спайность, излом	Твердость	Плотность	Диагностические признаки	Применение
			ские и др.								промышленности, в медицине и др.
40	Гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Моноклинная	Таблитчатая, сростки кристаллов, часто похожие на ласточки хвост; агрегаты зернистые, листовые, волокнистые	Бесцветный, желтый, белый, розовый, серый	Белая	Стекланный, на плоскостях спайности перламутровый, шелковистый	Весьма совершенная в одном направлении, занозистый	1,5-2,0	2,3	Форма кристаллов, спайность, твердость (царапается ногтем), нерастворимость в соляной кислоте. Разновидности: мелкозернистая – алебастр, волокнистая, с шелковистом блеском – селенит	В строительном деле, цементной промышленности, в оптике, медицине, производстве бумаги, красок, эмали, в металлургии и др.
Класс 7. Фосфаты											
41	Апатит $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F,Cl,OH}$ Фосфорит	Гексогональная, конкреции апатита с примесью песка	Призматическая, пластинчатая; встречается обычно в виде зернистых (сахаровидных) масс или вкраплений	Бесцветный, белый, зеленый, голубовато-зеленый, голубой, бурый и др.	То же	Стекланный	Несовершенная, неровный, раковистый	5	3,2	Форма кристаллов и более низкая твердость (отличие от кварца, турмалина и особенно берилла)	Для получения удобрения, фосфора и его соединений, в металлургии и др.
Класс 8. Вольфраматы											
42	Вольфрамит $(\text{Fe,Mn})\text{WO}_4$	Моноклинная	Призматические, толстотаблитчатые, пластинчатые кристаллы; агрегаты удлиненно-пластинчатые и сплошные зернистые	Красновато-коричневый, темно-бурый до черного	Желтовато-бурая, бурая	Алмазный на плоскостях спайности	Совершенная в одном направлении, неровный	4,5-5,5	6,7-7,5	Буровато-черный цвет, черта, большой уд.вес спайность в одном направлении и форма кристаллов (отличие от сфалерита)	Важнейшая руда на вольфрам
43	Шеелит CaWO_4	Тетрагональная	Кристаллы дипирамидальные, псевдооктаэдрические, чаще	Желтовато-серый, серый, бледно-	Белая	Стекланный, жирный	Средняя, неровный	4,5	6,0	Форма кристаллов, спайность, блеск, большой уд.вес, низкая твердость	Важнейшая вольфрамовая руда

№ пп	Название минерала, формула	Сингония	Морфология кристаллов и агрегатов	Цвет	Цвет черты	Блеск	Спайность, излом	Твердость	Плотность	Диагностические признаки	Применение
			включения зерен неправильной формы, реже сплошные массы	желтый, бурый, красноватый, редко белый						(светится голубым цветом в ультрафиолетовых лучах)	
Класс 9. Силикаты											
<i>Подкласс 1: Островные силикаты с изолированными тетраэдрами</i>											
44	Оливин (Mg,Fe) ₂ [SiO ₄]	Ромбическая	Обычно сплошные зернистые агрегаты, реже вкрапленные зерна, кристаллы	Зеленый до черного	-	Стекланный	Несовершенная, неровный	6,5-7,0	3,2-4,4	Цвет, неровный излом, стекланный блеск, характерная минеральная ассоциация. С кварцем не встречается	Сырье для изготовления огнеупорных кирпичей и др.
45	Группа гранатов: R ₃ X[SiO ₄] ₃ R-Ca, Mg, Fe X-Al, Cr	Кубическая	Изометричные кристаллы в форме ромбододекаэдра, сплошные зернистые массы	Коричнево-красные тона, реже зеленые, черные	-	То же	-, неровный	6,5-7,5	3,5-4,2	Характерный облик кристаллов, высокая твердость	В ювелирном деле, в качестве абразивного материала
46	Топаз Al ₂ [SiO ₄] (F, OH) ₂	Ромбическая	Призматические кристаллы	Бесцветные, голубоватые, винно-желтые	-	-«-	Совершенная в одном направлении	8	3,5	Облик кристаллов, высокая твердость	Драгоценный камень
<i>1-а. Островные силикаты с изолированными группами тетраэдров (кольцевые силикаты)</i>											
47	Берилл Be ₃ Al ₂ [Si ₆ O ₁₈]	Гексагональная	Призматические, хорошо образованные кристаллы, реже шестоватые сплошные массы	Зеленый, белый (разновидности: изумруд – травяно-зеленый; аквамарин – голубой)	-	Стекланный	Несовершенная, -	7,5-8,0	2,6-2,9	Высокая твердость, форма кристаллов в виде гексагональной призмы. Отличается от апатита по твердости	Сырье на бериллий, прозрачные окрашенные разновидности используются в ювелирном деле
48	Турмалин Na(Mg,Fe) ₃ (Al,Fe) ₄ ; [BO ₃] [Si ₆ O ₁₈] (OH) ₄	Тригональная	Призматические кристаллы волокнистые и радиально-лучистые агрегаты, зернистые плотные	Разнообразный (черный-шерл, зеленый, бурый, розовый и	-	То же	-, неровный	7,0-7,5	2,9-3,3	Сечение в виде сферического треугольника, штриховка на гранях вдоль удлинения,	Используется как пьезоэлектрический материал, в ювелирном деле

№ пп	Название минерала, формула	Сингония	Морфология кристаллов и агрегатов	Цвет	Цвет черты	Блеск	Спайность, излом	Твердость	Плотность	Диагностические признаки	Применение
			массы	др.)						высокая твердость	
<i>Подкласс 2: Цепочные и ленточные силикаты</i>											
49	Группа пироксенов $\text{CaMg}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ (Диопсид) Сподумен	Моноклинная и ромбическая	Призматические, игольчатые, шестоватые, уплощенные у сподумена	От грязно-зеленого до темно-зеленого, сподумен – серый	Нет либо светло-зеленая	Стекланный	Совершенный по призме под углом 87° , -	5,5-6,0	3,2-3,6	Цвет, форма кристаллов, поперечный срез близок к квадрату, характер спайности	Породообразующие минералы магматических и метаморфических пород. Сподумен – руда на лития
50	Группа амфиболов (актинолит, роговая обманка) $(\text{Na,Ca})_2\text{x}$ $(\text{Mg}_4\text{Fe})_4$ $(\text{Al,Fe})[(\text{Al,Si})_4\text{O}_{11}]_2$ $(\text{OH})_2$	Моноклинная	Длиннопризматические, игольчатые, тонколучистые, волокнистые	От бутылочного-зеленого (актинолит) до черного (роговая обманка)	Нет либо зеленоватого-голубая	Стекланный	Совершенный по призме под углом 124° , -	5,5-6,0	3,1-3,3	Цвет, форма кристаллов, цвет черты, поперечный срез, близкий к ромбовидному, спайность под тупым углом	Породообразующие минералы: нефрит, как поделочный камень
<i>Подкласс 3: Слоистые силикаты</i>											
51	Группа слюд: мусковит – белый, биотит – темно-коричневый, лепидолит – розовый, флогопит – зеленый	Моноклинная	Чешуйчатые, таблитчатые кристаллы, чешуйчатые агрегаты	От бесцветных до черных	Светлая, белая, зеленоватая	Стекланный, на плоскостях спайности перламутровый	Весьма совершенная в одном направлении, -	2-3	2,7-3,2	Морфология проявления, способность расщеплять на тонкие упругие пластинки	Изоляционный, тугоплавкий материал (мусковит, биотит), источник лития – лепидолит
52	Хлориты $(\text{Mg,Fe})_5\text{Al}$ $[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_8$	То же	Листовые и чешуйчатые агрегаты, сплошные массы, реже таблитчатые или бочонковидные кристаллы	Зеленые различных оттенков	Светлая, зеленоватая	То же	То же	2,0-2,5	2,6-3,0	Цвет и отсутствие упругости (отличие от слюд)	Хлориты с высоким содержанием железа (шамозит) используются как железная руда

№ пп	Название минерала, формула	Сингония	Морфология кристаллов и агрегатов	Цвет	Цвет черты	Блеск	Спайность, излом	Твердость	Плотность	Диагностические признаки	Применение
53	Тальк $Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2$	-«-	Листовые и чешуйчатые агрегаты, плотные сплошные массы	Бледно-зеленый, белый, иногда с желтоватым или бурым оттенком. То же светлая		Стекланный с перламутровым отливом	-«-	1	2,6-2,8	Низкая твердость, светлая окраска, жирный на ощупь. Листочки гибкие, но не упругие	В медицине, в керамическом производстве, в химической и бумажной промышленности
54	Серпентин $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$	-«-	Плотные массы, иногда с прожилками асбеста (волокнистые у хризотил-асбеста)	Темно-зеленый, бутылочно-зеленый разных оттенков	Светлая, зеленоватая	Стекланный, жирный, восковой, перламутровый	Совершенная в одном направлении, -	2,0-3,0	2,5-2,7	Характерный темно-зеленый оттенок, невысокая твердость, зеркала скольжения, жирный блеск в изломе. Часто встречается с асбестом	Поделочный камень, сырье для изготовления огнеупорного кирпича. Асбест применяется в промышленности и как огнеупорный, теплоизоляционный материал
55	Каолинит $Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8$	Моноклиная	Скрытокристаллические массы, редко кристаллы	В отдельных чешуйках бесцветный, в сплошной массе – белый	Белая	Матовый, жирный, в чешуйках перламутровый	Совершенная в одном направлении, -	1-2	2,6	Белый цвет, характерная морфология агрегатов, запах глины, легко поглощает воду (липнет к языку), легко растирается между пальцами	Основное сырье фарфоровой, керамической промышленности. Строительный материал, наполнитель в бумажном производстве и др.
<i>Подкласс 4: Каркасные силикаты</i>											
56	Группа полевых шпатов: калиевые полевые шпаты (КПШ),	Моноклиная, триклиная	Призматические, таблитчатые кристаллы, агрегаты	Красный, розовый, кремовый, зеленый (амазонит), белый	Белая	Стекланный	Совершенная в двух направлениях, -	6,0-6,5	2,6	Преобладают розовые тона окраски, высокая твердость, спайность	При изготовлении фарфора, фаянса, стекла. Амазонит – поделочный

№ п/п	Название минерала, формула	Сингония	Морфология кристаллов и агрегатов	Цвет	Цвет черты	Блеск	Спайность, излом	Твердость	Плотность	Диагностические признаки	Применение
	микроклин, ортоклаз $K[AlSi_3O_8]$										камень
57	Ca, Na полевые шпаты (плаггиоклазы) $Na[AlSi_3O_8]$ - $Ca[Al_2Si_2O_8]$	Триклинная	То же и сахаровидные массы	Белый, серый до черного альбит – белый, лабрадор – серый	-«-	То же	То же	6,0-6,5	2,6	Цвет, иризация (для лабрадора), тонкая штриховка за счет полисинтетических двойников	Породообразующие минералы, лабрадор – облицовочный камень
58	Нефелин (Na,K) $[AlSiO_4]$	Гексагональная	Шестигранные короткопризматические или толстотаблитчатые и сплошные массы	Серый, розоватый, бурый, зеленоватый	-«-	Жирный	-, раковистый, неровный	5,0-6,0	2,6	Сероватая окраска и жирный блеск, от полевых шпатов отличается отсутствием спайности	В стекольной, керамической, химической промышленности, руда на алюминий

2.4 Практическая часть

Тема: Определение физических свойств минералов

Задание 1

Определите физические свойства основных породообразующих минералов (образцы минеральных агрегатов выдаются преподавателем).

Задание 2

Определите (по физическим свойствам) кристаллические зерна пирита в серноколчеданных полиметаллических рудах Кызыл-Таштыгского месторождения.

Задание 3

Определите оптимальную температуру реакции с соляной кислотой Улуг-Шанганских известняков и доломитов.

Чтобы научиться на практике определять любые физические свойства минералов, необходимо получить в лаборатории кафедры раздаточную коллекцию минералов, таблицу-определитель, шкалу Мооса, бутылочку с 10%-й соляной кислотой, фарфоровые пластинки – «бисквиты», стекла, магнитную стрелку, стальную иглу, приступить к работе.

Порядок выполнения работы:

1. Определить формы одиночных кристаллов и минеральных агрегатов у полученных для работы минералов.
2. Установить цвет, блеск и прозрачность минералов, цвет черты.
3. Выяснить спайность и излом минералов (в раздаточной коллекции минералы представлены уже в расколотом виде, можно сразу определить названные свойства).
4. Определить твердость минералов при помощи эталонных минералов шкалы Мооса или заменителей.
5. Приблизительно установить удельный вес минерала, взвесивая его на руке.
6. Определить особые свойства минералов: вкус, запах, реакцию с соляной кислотой, магнитность, гибкость, упругость, явление двойного лучепреломления.

После изучения внешних признаков минералов, их физических свойств, можно приступить к определению минералов. Для этого необходимо знать их классификацию, отличительные признаки каждого класса, перечень входящих в него минералов, предусмотренных программой курса, а также формулы этих минералов.

2.5 Методика макроскопического определения минералов

Определение минерала необходимо проводить в следующей последовательности:

1. По уже установленным внешним признакам выделить группу похожих минералов (табл. 2.2). В нее должны входить обязательно все сходные минералы.
2. Уточнить физические свойства минералов (твердость, блеск и др.).

По физическим свойствам из этой группы будут исключены некоторые минералы. При правильном определении в конечном счете останется один минерал, соответствующий всему комплексу установленных свойств.

Особенности диагностики похожих минералов, изучаемых в данном курсе, приведены в табл.

2.3.

Таблица 2.3 Особенности диагностики главнейших рудных и породообразующих минералов

Сходные свойства	Минералы	Отличительные признаки
Металлический блеск, свинцово-серый цвет, черная черта, твердость меньше 3	Халькозин	Несовершенная спайность, ковкость, ассоциация с медными минералами
	Галенит	Совершенная спайность по кубу, ступенчатый излом, ассоциация со сфалеритом
	Антимонит	Удлиненно-призматические зернистые агрегаты, совершенная спайность вдоль удлинения и поперечная штриховка на плоскости спайности
	Молибденит	Твердость 1, совершенная спайность, серая блестящая черта, при растирании на бумаге появляется зеленоватый оттенок, ассоциация с кварцем

Сходные свойства	Минералы	Отличительные признаки
Металлический блеск, желтоватый цвет, черная черта, твердость больше 3	Пирит	Светлый латунно-желтый цвет, форма кристаллов, штриховка на гранях, твердость 6,0-6,5
	Халькопирит	Латунно-желтый цвет, черная черта с зеленоватым оттенком, несовершенная спайность
	Пирротин	Темный бронзово-желтый цвет, слабо магнитный, иногда хорошо выраженная отдельность в одном направлении
	Пентландит	Светлый бронзово-желтый цвет, черная черта с зеленоватым оттенком, спайность совершенная в 4 направлениях
Алмазный блеск, коричневый до черного цвета, бурая черта твердость больше 3	Сфалерит	Изометричная форма зерен, спайность совершенная в 6 направлениях, реагирует с соляной кислотой с выделением сероводорода, твердость 3-4
	Вольфрамит	Удлиненно-призматическая форма зерен, совершенная спайность вдоль удлинения, твердость 4,5-5,5
	Касситерит	Призматическая, дипирамидально-призматическая форма кристаллов, светлая буроватая черта, несовершенная спайность, в агрегатах полуметаллический блеск, твердость 6-7
Полуметаллический блеск, черный цвет, твердость больше 5	Магнетит	Черная черта, сильная магнитность, ромбододекаэдрическая и октаэдрическая форма кристаллов
	Хромит	Бурая или буровато-желтая черта, ассоциация с серпентином, оливином
	Пиrolюзит	Черная черта, образует иногда сажистые, землистые агрегаты (твердость в них падает до 1)
Стекланный блеск, призматическая форма кристаллов, твердость больше 5	Кварц	Сингония тригональная, твердость 7, в изломе жирный блеск, горизонтальная штриховка на гранях призмы
	Корунд	Сингония тригональная, твердость 9, отдельность перпендикулярна удлинению, в плоскости отдельности штриховка в 3 направлениях под углом 60°
	Берилл	Сингония гексагональная, твердость 8, грани кристаллов гладкие, реже на них – продольная штриховка
	Апатит	Сингония гексагональная, твердость 5, грани гладкие, иногда наблюдается слабая штриховка вдоль удлинения кристаллов
Светлая окраска, средняя до весьма несовершенной спайности, твердость больше 4,5, зернистые агрегаты	Кварц	Твердость 7, спайность весьма несовершенная, стекланный блеск
	Шеелит	Твердость 4,5, блеск жирный, черта белая, обладает люминесценцией голубого цвета и большим уд.в.
	Нефелин	Твердость 5,5-6,0, блеск жирный
Красный до красно-бурого цвет, стекланный блеск, светлая окраска	Киноварь	Черта ярко-красная, твердость 2,0-2,5, алмазный блеск, средняя спайность
	Куприт	Черта буровато-красная, при растирании желтеет, алмазный блеск, у землистых разновидностей – матовый, ассоциация самородной медью, малахитом, азурином
	Гематит	Черта вишнево-красная, часто пластинчатые или чешуйчатые агрегаты
Белая черта, твердость до 4, совершенная спайность	Флюорит	Спайность в 4 направлениях (по октаэдру), твердость 4
	Карбонаты (кальцит, доломит и др.)	Спайность в 3 направлениях (по ромбоэдру), взаимодействие с соляной кислотой, твердость 3
	Галит	Спайность в 3 направлениях (по кубу), твердость 2,0-2,5

Сходные свойства	Минералы	Отличительные признаки
		солёный вкус
	Сильвин	Спайность в 3 направлениях (по кубу), твердость 2,0-2,5 жгуче-солёный вкус
	Барит	Спайность в 3 направлениях (наряду с острыми и тупыми углами встречается спайность под прямым углом), твердость 3,0-3,5, таблитчатый облик кристаллов, высокий уд.в.
	Гипс	Спайность совершенная вдоль удлинения, поперек – средняя, вследствие чего спайные выколки имеют ромбическую форму, твердость 2 (легко царапается ногтем)
Стекланный блеск, зеленый разных оттенков до черного цвет, призматические до игольчатых кристаллов	Турмалин	Спайность весьма несовершенная, твердость 7-8, в поперечном сечении кристаллы имеют форму сферического треугольника, на гранях наблюдается продольная штриховка
	Пироксены:	Совершенная спайность по призме под углом 87°
	Диопсид	Короткостолбчатый облик кристаллов, часто серовато-зеленый цвет
	Геденбергит	Лучистые, листовые или радиально-лучистые агрегаты, темно-зеленый, зеленовато-черный цвет
	Эгирин	Игольчатые, шестоватые, лучистые агрегаты, темно-зеленый до черного цвет, ассоциация с нефелином, альбитом, микроклином, апатитом, вертикальная штриховка
	Амфиболы:	Совершенная спайность по призме под углом 124 или 56°
	Актинолит	Лучистые, листоватые, спутанно-волокнистые агрегаты, зеленый с различными оттенками цвет, ассоциация с биотитом, хлоритом, тальком, кварцем
	Роговая обманка	Призматические, столбчатые кристаллы, зеленый разных оттенков до черного цвет, белая с зеленоватым оттенком черта
Стекланный блеск, весьма совершенная спайность в одном направлении, твердость до 3	Слюды:	Облик кристаллов – пластинчатый, таблитчатый, агрегаты – листоватые, чешуйчатые, листочки гибкие и упругие. На плоскостях спайности перламутровый блеск. По окраске различают:
	Биотит	Черный, темно-зеленый, темно-бурый
	Флогопит	В агрегатах бурый, красно-бурый, в тонких листочках слабоокрашенный
	Мусковит	Бесцветный, серебристо-белый, бледно-зеленый, желтоватый, мелкочешуйчатый агрегат называется серицитом
	Лепидолит	Розовый, бледно-фиолетовый
	Тальк	Листоватые, чешуйчатые агрегаты, плотные сплошные массы, твердость 1, жирный на ощупь, листочки гибкие, но не упругие, для сплошных масс матовый блеск
	Хлориты	Чешуйчатые агрегаты, цвет зеленый различных

Сходные свойства	Минералы	Отличительные признаки
		оттенков, иногда белый, листочки гибкие, но не упругие, на ощупь сухой
Стекланный блеск, совершенная спайность в двух направлениях, твердость более 6, светлая окраска	Сподумен	Спайность под углом 87° , вытянутые досковидные, часто деформированные кристаллы, твердость 6,5-7,0
	Калиевые полевые шпаты	Спайность под углом 90° , цветной оттенок в окраске – розовый, красный, зеленый
	Плагиоклазы	Окраска белая и серая (исключение – иризация у лабрадора и лунного камня), ассоциация с оливином, пироксенами, по плоскостям спайности тонкая штриховка за счет полисинтетических двойников

Контрольные вопросы по разделу

1. Что изучает минералогия?
2. Минералы – это?
3. Изотропность – это?
4. Анизотропность – это?
5. На какие группы подразделяются минералы по химическому составу и их примеры?
6. Изоморфизм – это?
7. Минеральным агрегатом называется?
8. Виды зернистых выделений?
9. Друзы – это?
10. Секреции – это?
11. Конкреции – это?
12. Натечные формы – это?
13. Землистые массы – это?
14. Налеты и примазки – это?
15. Перечислите основные физические свойства минералов
16. По какой шкале определяют твердость минералов?
17. По химическому составу и кристаллическому строению все известные минералы разбиваются на несколько классов, из которых важнейшими являются...?

3. ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

Горными породами называются естественные ассоциации минералов, возникающие в земной коре в результате кристаллизации природных силикатных расплавов, диагенеза осадков и перекристаллизации ранее существовавших горных пород. Состав, строение и происхождение пород изучает **петрография**. Горные породы образуют в земной коре тела различной формы (слои, пласты, линзы, массивы и т.д.), имеют определенный вещественный состав и внутреннее строение. По происхождению все горные породы разделяют на *изверженные (магматические)*, **осадочные** и **метаморфические**. Распространение пород неодинаково. Подсчитано, что литосфера на 95 % сложена магматическими и метаморфическими породами и только 5 % составляют осадочные породы. Земная поверхность покрыта осадочными породами (75 %) и только 25 % приходится на долю магматических и метаморфических пород.

Горные породы могут быть мономинеральными, состоящими из одного минерала (например, лабрадорит), и полиминеральными, состоящими из нескольких минералов (например, гранит).

Различают *главные* породообразующие минералы, слагающие большую часть породы, и *второстепенные*, присутствующие в меньшем количестве. По генетическому признаку минералы подразделяют на *первичные*, сформированные в результате образования горной породы, и *вторичные*, возникшие в процессе последующих ее изменений. Породообразующие минералы делятся, кроме того, на *силикатные* (светлоокрашенные) и *фемические* (темноцветные).

Внутреннее строение пород определяется структурой и текстурой.

Структура – особенности внутреннего строения горной породы; обусловленные размерами и формами минеральных зерен, их взаимоотношениями, а также степенью кристалличности породы. Последнее справедливо только для магматических пород. Структура обусловлена процессами минералообразования.

Текстура – особенности сложения горной породы, обусловленные способом и степенью заполнения пространства, и расположением минералов в пространстве. Тектурные признаки формируются при перемещении и преобразовании вещества в процессе становления породы. Текстура отражает такие особенности горных пород, как ориентировка минеральных зерен, пористость, полосчатость, слоистость и т.д.

3.1 Магматические горные породы

Магматические горные породы образуются путем кристаллизации природных силикатных расплавов (магм), зарождающихся в земной коре либо на ее поверхности. По условиям образования магматические горные породы делятся на 2 класса: вулканические и плутонические. К вулканикам относятся **эффузивные** (излившиеся) породы. Класс плутонитов объединяет **интрузивные** (глубинные) и **жильные**, или **дайковые**, породы (занимают промежуточное положение между глубинными и излившимися породами).

Магматические породы образуют объемные геологические тела определенной формы и размера. Интрузивные породы встречаются в виде **батолитов** – массивов огромных размеров, площадь которых достигает тысяч квадратных километров; **штоков** – изометричных тел, площадь которых – сотни квадратных километров; **лакколитов** – грибообразных тел с выпуклой кровлей; **лопполитов** – грибообразных тел с вогнутой кровлей; **силлов** – пластообразных тел, залегающих согласно простиранию осадочных пород, в близповерхностных условиях.

Эффузивные породы образуют **покровы** (плоские тела большого площадного распространения) и **потоки** (узкие тела удлиненной формы).

Дайки – плитообразные тела, возникающие при заполнении магмой трещинных полостей.

Текстура и структура магматических горных пород

Структуры изверженных пород (табл. 3.1) классифицируются по степени кристалличности, абсолютному и относительному размеру зерен минералов и характеру их взаимоотношений.

Таблица 3.1. **Важнейшие структуры магматических пород**

Признак структуры	Структура пород			Краткая характеристика
	интрузивных	эффузивных	жильных	
Степень кристалличности	Полнокристаллическая			Отсутствие вулканического стекла
	-	Неполнокристаллическая		Присутствует вулканическое стекло
	-	Стекловатая	-	Преобладает стекло

Признак структуры	Структура пород			Краткая характеристика
	интрузивных	эффузивных	жильных	
Абсолютные размеры зерен	-	-	гигантозернистая	Размер зерен более 20 мм
	Крупнозернистая	-	-	20 – 5 мм
	Среднезернистая	-	-	5 – 1 мм
	Мелкозернистая	-	Мелкозернистая	Менее 1 мм
	Афанитовая			Зерна неразличимы невооруженным глазом
Относительные размеры зерен	Равномерно-зернистая			Зерна одинаковых размеров
	Неравномерно-зернистая (порфириовидная)	-	Неравномерно-зернистая (порфириовидная)	Вкрапленники на фоне различимо – зернистой основной массы
	-	Неравномерно-зернистая (порфириовидная)	-	Вкрапленники на фоне афанитовой или стекловатой основной массы
Взаимное расположение зерен	-	-	Пегматитовая	Закономерные вросстки одного минерала в другом
Форма зерен	Панидиоморфная	-	-	Все кристаллы имеют собственную огранку
	Гипидиоморфная	-	-	Кристаллы правильной и зерна неправильной формы
	Аллоотриоморфная	-	-	Зерна неправильной формы

Текстуры изверженных пород обусловлены способом выполнения пространства и расположения минералов в пространстве.

По наличию или отсутствию пустот, их размерам различают следующие текстуры:

- 1) *плотную, компактную* (без пустот);
- 2) *пористую* (с пустотами различных размеров);
- 3) *миндалекаменную* (с пустотами, заполненными минералами гидротермального происхождения – карбонатами, цеолитами, халцедоном и др.).

Пористая и миндалекаменная текстуры свойственны эффузивным породам.

По расположению минералов в породе выделяют текстуры:

- 1) *массивную* (однородную), обусловленную беспорядочным расположением минералов;
- 2) *шлировую* (такситовую) – минералы распределены неравномерно, имеются участки (шлиры), обогащенные цветным минералом;
- 3) *полосчатую* – в породе имеются полосы различного минералогического состава, чередующиеся между собой.

Для эффузивных пород характерна флюидальная текстура, отражающая динамику течения лавы: в породе, наблюдается вытянутость призматических минералов в определенном направлении.

Классификация и номенклатура

Химический состав магматических горных пород очень разнообразен. Его выражают стандартным набором петрогенных оксидов: SiO₂, Al₂O₃, TiO₂, FeO, Fe₂O₃, MnO, MgO, CaO, K₂O, Na₂O. В основу классификации магматических пород положено содержание кремнезема (табл. 3.2).

А. Н. Заварицкий предложил формировать название группы пород из названий наиболее типичных ее представителей по принципу: на первое место ставится название интрузивной породы (например, диорит), а на второе – название ее эффузивного аналога (например, андезит). Интрузивные и эффузивные аналоги имеют одинаковый химический и минеральный состав, но разные текстурно-структурные особенности.

Гипабиссальные породы, или породы средних глубин, содержащие в своем составе вкрапленники плагиоклаза или темноцветных минералов, называются *порфирирами*. Если же вкрапленники представлены калиевым полевым шпатом (КПШ), то породы называют *порфирами*.

Часть дайковых (жильных) пород не отличается от интрузивных аналогов по минералогическому составу, но в структурном отношении они представляют собой мелкозернистые и порфиоровые разности. Другая группа жильных пород образуется в результате разделения остаточной магмы на две порции. Одна из них идет на формирование лейкократовых пород: пегматитов, обладающих гигантозернистой и пегматитовой структурой, и *аплитов* – пород мелкозернистой структуры. Другая порция магмы формирует меланократовые породы – *лампрофиры*.

Таблица 3.2. Классификация магматических пород по химическому составу

Группа пород SiO ₂	Плотность, г/см ³	Содержание SiO ₂ , %	Ряд	Группа по минеральному составу
Ультраосновные (ультрамафиты)	Тяжелые 3,1 – 3,5	30 – 44	Нормальный	Перидотита-пикрита
Основные	Средней тяжести 2,8 – 3,1	44 – 53	Нормальный	Габбро-базальта
Средние	То же	53 – 64	Нормальный	Диорита-андезита (с плагиоклазом)
	Легкие 2,5 – 2,8		Субщелочной	Сиенита-трахита (с КПШ)
	Средней тяжести 2,8 – 3,1		Щелочной	Нефелинового сиенита-фонолита
Кислые	Легкие 2,5 – 2,8	64 – 78	Нормальный	Гранита-риолита

В каждой группе выделяются породы нормального и щелочного рядов. Щелочность породы определяется соотношением K₂O + Na₂O и SiO₂. Щелочные породы, как правило, содержат нефелин и (или) другие фельдшпатоиды и щелочные полевые шпаты.

Ультрамафиты. Эти породы имеют темную окраску и высокую плотность, т.к. состоят из тяжелых феррических минералов. Плутонические породы представлены мономинеральными оливиновыми породами – *дунитами*, пироксеновыми породами – *пироксенитами*. Породы, состоящие из равных количеств оливина и пироксена, называются *перидотитами*. Мономинеральные роговообманковые породы носят название *горнблендитов*. Макроскопически эти породы отличить друг от друга довольно сложно.

Дуниты обычно имеют тонкую желто-бурую корочку выветривания. У пироксенитов и горнблендитов на свежем сколе наблюдаются блестящие плоскости спайности отдельных зерен пироксена и роговой обманки. Вулканические ультраосновные породы имеют незначительное распространение из-за вязкости магм, не достигающих дневной поверхности, представлены *пикритами*, аналогами перидотитов.

Жильная разновидность ультраосновных пород – кимберлиты, имеют голубовато- и зеленовато-серую окраску и брекчиевидное строение. Состоят они из обломков пород и минералов (оливина, пироксенов, граната – пироба и др.). Форма тел кимберлитов трубообразная. Породы алмазоносны.

Основные породы. Эти породы представлены группой габбро-базальта, имеют темно-серый или черный цвет.

Габбро – интрузивная порода полнокристаллической структуры, состоящая из основного плагиоклаза и пироксена, реже – роговой обманки. Плагиоклазы часто темные, но просвечивают в краях. Двойниковые полосы у плагиоклазов обычно толстые.

Лабрадориты – мономинеральные породы, состоящие из лабрадора. В отдельных зернах лабрадора наблюдается иризация.

Из эффузивных пород наиболее распространены базальты – породы темно-серого до черного цвета мелкозернистой, афанитовой или неполнокристаллической структуры, пористой или миндалекаменной текстуры. Во вкрапленниках преобладают темноцветные минералы. Поверхность породы шероховатая на ощупь за счет мелкой пористости. Интенсивно измененные разности называются *метабазальтами*. Они обычно окрашены в зеленоватый цвет за счет большого количества вторичных минералов – хлорита, актинолита, эпидота, альбита и др.

Жильные породы представлены *долеритами*, *диабазами* и *микрогоббро*, *габбро-пегматитами*

и лампрофирами.

Долериты – неизменные вулканические и гипабиссальные породы среднезернистой структуры, т.е. степень их раскристаллизации значительно выше, чем у базальтов. *Диабазы* – измененные вулканические или гипабиссальные полнокристаллические породы, аналоги долеритов.

Средние породы. Отличаются от предыдущих групп более светлой окраской. По содержанию ($K_2O + Na_2O$) выделяют породы нормального, субщелочного и щелочного рядов.

Породы нормального ряда (плагиоклазовые) представлены группой диорита-андезита. Состоят они из среднего плагиоклаза и роговой обманки.

Диориты – плутонические породы пестрой, в основном серой окраски, обычно среднезернистой, редко порфирированной структуры.

Андезиты – неизменные вулканические породы серого цвета порфирированной либо скрытокристаллической структуры. Во вкрапленниках обычно встречается плагиоклаз. От базальтов отличаются более светлой окраской.

Метаандезиты – измененные вулканические породы красноватой или зеленоватой окраски порфирированной структуры. Вкрапленники представлены зеленовато-серым плагиоклазом.

Жильные породы представлены *микродиоритами*, *диорит-порфирирами*, *диорит-пегматитами* и *лампрофирами*.

Породы субщелочного ряда (калишпатовые) представлены группой сиенита-трахита.

Сиениты – плутонические породы серого, розового цвета, сложенные КПШ, кислым плагиоклазом, роговой обманкой, реже биотитом или пироксеном. Кварц может присутствовать в незначительном количестве.

Трахиты – неизменные вулканические породы светлой окраски, нередко порфирированной структуры с вкрапленниками свежих неизменных полевых шпатов, реже темноцветных минералов.

Метатрахиты – измененные аналоги трахитов. Порфирированные выделения выполнены ортоклазом.

Жильные породы представлены *микросиенитами* и *сиенит-порфирами*, лейкократовыми *сиенит-пегматитами*, а также меланократовыми *лампрофирами*.

Породы щелочного ряда представлены группой нефелинового сиенита-фонолита.

Нефелиновые сиениты – плутонические породы серого, грязно-розового, грязно-зеленого цвета, состоящие из нефелина (до 30%), КПШ (60%), щелочных пироксенов и амфиболов (10%). Нефелин диагностируется по шестиугольным и прямоугольным сечениям.

Кислые породы. Эти породы имеют светлую окраску. Определяющим минералом в их составе является кварц (каждое третье или четвертое зерно). Представлены группой гранита-риолита.

Граниты – плутонические породы разнообразной окраски, полнокристаллической структуры, состоящие из кварца (30%), КПШ, плагиоклаза и темноцветных минералов – слюд, роговой обманки (до 10-15%).

Граниты-рапакиви – порфирированные породы с вкрапленниками КПШ округлой формы, которые имеют каемку кислого плагиоклаза.

Риолиты – неизменные вулканические аналоги гранитов светло-серой, серой окраски, неполнокристаллической афанитовой структуры. По составу к риолитам примыкают кислые вулканические стекла: пемзы и обсидианы. *Пемза* очень легкая пористая порода. *Обсидиан* – похож на обычное стекло, окрашенное в темные цвета, имеет массивную текстуру, раковистый излом. *Метариолиты* – измененные аналоги риолитов порфирированной, часто стекловатой структуры.

Жильные породы кислого состава представлены микрогранитами и гранит-порфирами, аплитами и гранитными пегматитами. Аплиты имеют мелкозернистую структуру. В последнем случае порода называется «письменный гранит», или «еврейский камень» (за сходство структурного рисунка с клинописью).

Практическое значение магматических пород

Многие магматические породы применяются как строительный материал (гранит, лабрадорит). С магматическими породами связаны месторождения полезных ископаемых. С гранитами связаны месторождения золота, руд вольфрама, олова, молибдена, полиметаллов, сурьмы, мышьяка, ртути, ниобия и многих нерудных ископаемых – флюорита, драгоценных камней, мусковита, полевого шпата, кварца и др.

Интрузии диоритов сопровождаются месторождениями золота, магнетита, халькопирита. К массивам основных пород приурочены руды титана, меди и никеля, алмазов, асбеста, талька. Месторождения апатита, нефелина, корунда, редких и редкоземельных элементов связаны со щелочными породами.

Таблица 3.3 Классификация и состав магматических пород

Группа, цветное число	Плутонические породы	Вулканические породы		Жильные породы	Минеральный состав, %						
		неизмененные	измененные		Фемические минералы				Салические минералы		
					Оливин	Пироксены	Роговая обманка	Слюды	Плагиоклазы	КПШ	Кварц
Ультраосновные, 100	Дунит	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-
	Пироксенит	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-
	Перидонит	Пикрит	-	Кимберлит	50	50	-	-	-	-	-
	Горнблендит	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-
Основные, до 50	Габбро	Базальт	Метабазальт	Долерит, диабаз, микрогаббро, габбро-пегматит, лампрофир	-	50	-	-	Основной 50	-	-
	Лабрадорит	-	-	-	-	-	-	-	100	-	-
Средние: А. Диорита-андезита, 30	Диорит	Андезит	Метаандезит	Микродиорит, диорит-порфирит, диорит-пегматит, лампрофир	-	-	20	10	Средний 70	-	-
Б. Сиенита-трахита, 20	Сиенит	Трахит	Метатрахит	Микросиенит, сиенит-порфир, сиенит-пегматит, лампрофир	-	-	10	10	Кислый 30	50	-
Кислые, до 15	Гранит	Риолит, пемза, обсидиан	Метариолит	Микрогранит, гранит-порфир, гранитный пегматит, гранит-аплит	-	-	0-15	0-15	Кислый 15	40	30

3.2 ОСАДОЧНЫЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

Осадочные породы образуются в ходе экзогенных процессов. По среднему химическому составу осадочные породы близки к магматическим, что говорит о происхождении их, в основном, из продуктов выветривания магматических пород. По минералогическому составу они резко отличаются от магматических. Состоят они, в основном, из карбонатов (кальцит, доломит); сульфатов (гипс, ангидрит); фосфатов, оксидов железа, марганца, алюминия; глинистых минералов. Кроме минералов осадочные породы часто содержат скелетные остатки. Окраска осадочных пород обусловлена их составом – окраской минералов и примесей. Окрашивающими примесями часто являются гидроксиды железа (желто-бурые цвета), органические вещества (темно-серый), углистые частицы, оксиды марганца (черный).

По условиям образования осадочные породы подразделяют на следующие группы:

Вулканогенно-обломочные (пирокластические), образующиеся при осаждении продуктов вулканических извержений из воды или воздуха;

обломочные (терригенные), образующиеся в результате механического разрушения ранее существовавших горных пород, переноса и отложения их обломков;

хемогенные и органиогенные (биохемогенные). Хемогенные породы являются результатом выпадания осадков при химических реакциях из вод морей, озер и других водоемов. Органиогенные породы образуются благодаря деятельности животных и растений.

Между этими группами нет четких границ. Существуют породы смешанного происхождения, которые образуются вследствие химических реакций, протекающих при прямом или косвенном участии организмов. Нередко встречаются и органиогенно-обломочные породы.

По месту образования осадочные породы подразделяются на морские (прибрежные, мелководные и глубоководные), лагунные и континентальные (пресноводные, ледниковые, эоловые).

Текстура и структура осадочных горных пород

Характерной особенностью осадочных пород является слоистая текстура, выражающаяся чередованием пластов различного состава или различной структуры. В отличие от полос, слои имеют отчетливо выраженную подошву и кровлю. Нередко порода раскалывается на отдельные плитки вдоль границ слоев. Характер слоистости определяется условиями накопления осадка: в морях и озерах образуется параллельная слоистость, в водных – косая, в прибрежно-морских условиях – диагональная.

Текстуры поверхности слоя пород очень своеобразны. По ним можно установить условия образования пород. К ним относятся знаки ряби, прибоя, капель дождя, трещины усыхания и т.д.

Массивная текстура характерна для осадочных пород различного происхождения. Она может наблюдаться в образцах, отобранных в обнажениях пород грубослоистой текстуры между поверхностями напластования.

Пористая текстура выражается наличием пустот и каверн, она характерна для пород гипергенного, терригенного, органиогенного и вулканогенно-обломочного происхождения.

Структуры пород обломочного происхождения характеризуются величиной слагающих их обломков. Выделяют *грубообломочную* (псефитовую), *среднеобломочную* (псаммитовую), *мелкообломочную* (алевритовую), *пелитовую* (глинистую) структуры.

Для пород хемогенного и хемобиогенного происхождения характерны кристаллические структуры: *крупнокристаллическая* (более 1 мм), *среднекристаллическая* (1,0 – 0,1 мм), *скрытокристаллическая* (0,1 – 0,01 мм), *пелитоморфная* (менее 0,01 мм).

Таблица 3.4 Классификация обломочных пород

Размер обломков, мм	Характер обломков и сложение				Структуры
	Рыхлые		Сцементированные		
	остроугольные	окатанные	остроугольные	окатанные	
>100	Глыбы	Валуны	Брекчия	Конгломерат	Псефитовые (грубообломочные)
10 – 100	Щебень	Галечник			
2 – 10	Дресва	Гравий	Дресвяник	Гравелит	
0,1 – 2,0	Песок		Песчаник		Псаммитовые (песчаные)
0,01 – 0,1	Алеврит (ил)		Алеврит (шероховатый на ощупь)		Алевритовые (иловатые)
>0,01	Пелит (глина)		Аргиллит (гладкий на ощупь)		Пелитовые (глинистые)

Органогенные породы имеют *биоморфную* структуру с хорошо сохранившимися ископаемыми остатками организмов и *детритовую* с обломками скелетов организмов.

Структуры пирокластических пород классифицируют по величине обломков: *вулканический пепел* размером до 1 мм (алевритовая структура), *вулканический песок* – 1 – 2 мм (псаммитовая структура), *лапилли* – 2 – 30 мм, *вулканические бомбы* – более 30 мм (псефитовые структуры).

Классификация и номенклатура

Вулканогенно-обломочные (пирокластические) породы.

Образуются из продуктов вулканических извержений. Этот материал в процессе диагенеза превращается в горные породы: *туфы*, состоящие в основном из частиц пепловой и псаммитовой размерности, *туфобрекчи* и *туфоконгломераты*, в которых преобладают частицы псефитовой размерности. Если вулканогенный материал в водной среде смешивается с осадочным, то образуются *туффиты*. С вулканогенно-обломочными породами связаны крупнейшие месторождения свинцово-цинковых и медных руд, так называемые стратиформные месторождения.

Обломочные (терригенные) породы. Широко распространенная группа пород. Это рыхлые или сцементированные механические осадки. Под цементом понимает тонкий материал, скрепляющий обломки. Он может быть различным: карбонатным, гипсовым, кремнистым, глинистым, фосфатным и т.д.

Учитывается форма обломков: окатанные, полуокатанные, угловатые.

Среди псаммитов выделяют *мономинеральные* породы (обычно кварцевые), *олигомиктовые* (кварц с примесью полевых шпатов) и *полимиктовые*. Среди последних выделяют *аркозовые* песчаники (преобладает полевой шпат) и *граувакковые* (обломки пород). С песками связаны россыпные месторождения золота, платины, ильменита, касситерита и т.д.

Хемогенные и органогенные (биохемогенные) породы.

Наиболее распространены карбонатные и кремнистые породы. Хемогенные породы образуются из химических осадков истинных или коллоидных растворов. Морская вода является истинным раствором, находящимся в состоянии химического равновесия. В момент нарушения равновесия начинается выпадение осадка. Нередко граница между хемогенными и органогенными породами весьма условна. Наиболее близки к органогенным породам каустобиолиты.

Наибольшим распространением среди **карбонатных пород** известняки и доломиты. *Известняки* – это породы, состоящие из кальцита с примесью глины и песка. Если количество глинистой примеси составляет 30 – 50 %, порода называется мергелем. При значительном содержании песка в составе породы, ее называют песчанистым известняком. При определении известняков следует использовать реакцию с соляной кислотой, при воздействии которой они бурно вскипают, но в отличие от мергелей не образуется грязного пятна. Структуры известняков и мергелей зернистые различной крупности, афанитовые, редко оолитовые. Текстуры слоистые, массивные, плотные. Цвет пород чаще всего серый.

Органогенные известняки состоят из твердых остатков организмов хорошей сохранности, сложенных кальцитом. Если сохранность остатков организмов плохая, то известняк следует называть органогенно-обломочным. Разновидностью органогенного известняка является *мел*, состоящий из мельчайших зернышек кальцита и известняковых раковин *фораминифер*, а также продуктов жизнедеятельности водорослей.

Доломиты отличаются от известняков более слабой реакцией с соляной кислотой, протекающей только порошке. Следует помнить, что наличие карбонатов вообще не характерно для магматических пород, поэтому реакция с кислотой может служить признаком пород осадочного или метаморфогенного происхождения.

Кремнистые породы. *Диатомиты* – породы органогенного происхождения, белые или светло-желтые, пачкающие руки, легко растирающие в тонкий порошок, состоящие из мельчайших опаловых скорлупок диатомовых водорослей. *Трепелы* – породы коллоидно-химического происхождения, рыхлые, пористые, реже плотные, состоящие из мельчайших зерен опала. Цвет белый, серый, желтый, бурый. Обладают малым удельным весом, охотно впитывают влагу. Применяются в строительной (звукоизоляторы) и химической (поглотители, фильтры) промышленности. *Опоки* – опаловидные кремнистые породы биохемогенного происхождения, похожие на трепел, но более твердые и чуть более тяжелые. При ударе раскалываются с характерным звенящим звуком на мелкие остроугольные обломки с раковистым изломом.

Глиноземистые, железистые, марганцевые и фосфатные породы (руды).

Бокситы – породы, состоящие из гидроксидов алюминия с примесью гидроксидов железа. Макроскопически представляют собой рыхлые землистые массы белого, желтого и бурого цветов,

часто имеющие оолитовую структуру. Образуются за счет переотложения продуктов выветривания пород, содержащих алюминий (осадочные бокситы) и при выветривании в условиях жаркого климата (остаточные бокситы). Руда на алюминий.

Железистые породы состоят из оксидов и гидроксидов железа и являются железными рудами. Их образование связано главным образом с процессами химического выветривания и с осаждением гидроксидов железа в прибрежно-морской зоне. Существенную роль в формировании железных руд играют и бактерии. Характерна оолитовая, конкреционная, землистая структуры. Преобладает бурая окраска различных оттенков (до черной). Удельный вес сравнительно велик.

Марганцевые породы имеют меньшее распространение, нежели железистые, но чрезвычайно важны в промышленном отношении. Марганец переносится в виде коллоидных соединений, которые осаждаются на больших глубинах по сравнению с коллоидными соединениями железа. Возможно, в образовании марганцевых руд принимают участие микроорганизмы. Руды представлены чаще всего черными пиролюзитовыми и другими оксидными соединениями марганца либо серовато-розовыми карбонатными соединениями. Нередко имеют оолитовое строение, часто мягкие, сажистые.

Фосфориты представляют собой различные осадочные породы (песчаники, глины, мергели), обогащенные кальциевыми солями фосфорной кислоты. По внешнему виду породы очень разнообразны. Цвет их серый до черного. Встречаются сплошные пластовые фосфориты и желваковые – в виде конкреций. На происхождение пород существует две точки зрения – биолитоогенная и химическая. Служат сырьем для получения фосфатных удобрений.

К эвапоритам относятся галоидные и сульфатные породы, имеющие исключительно хемогенную природу, накапливающиеся в замкнутых водоемах в условиях жаркого засушливого климата. Наиболее распространенной породой галоидного состава является *каменная соль*, образующая светлоокрашенные кристаллические скопления слоистой текстуры, состоящие из минерала **галита**. Цвет породы может быть изменен за счет механических примесей. В ассоциации с каменной солью встречаются *калийные соли*, состоящие из минерала сильвина яркой оранжевой окраски, жгучего горько-соленого вкуса. Применяется для получения калийных удобрений. Из сернокислых пород наибольшим распространением пользуется *гипс* – мелкозернистая светлоокрашенная порода, состоящая из одноименного минерала. Иногда образует прожилки, выполненные шестоватой разновидностью гипса – селенитом. Ассоциирует с самородной серой.

Каустобиолиты (греч. *kausticos* – жгучий) образуются из остатков растительных и животных (планктон) организмов под влиянием биохимических, химических и геологических факторов. Породы обладают горючими свойствами. Наиболее распространены породы ряда углей, которые в зависимости от степени разложения растительных остатков подразделяются на *торф*, *бурый уголь*, *каменный уголь*, *антрацит* и др.

Торф представляет собой рыхлую, землистую породу желтого, бурого или черного цвета. Содержит видимые остатки растительности. Содержание углерода – 35 – 40 %.

Бурый уголь – плотная темно-бурая или черная масса с землистым, редко раковистым изломом, матовым блеском. Черта темно-бурая. Содержание углерода – до 70 %.

Каменный уголь – черная, более плотная, чем бурый уголь, порода с землистым и раковистым изломом. Пачкает руки. Содержание углерода – до 80 %.

Антрацит – очень твердая плотная порода серовато-черного цвета с сильным полуметаллическим блеском, рук не пачкает.

К каустобиолитам относятся нефть и продукты ее разложения.

Практическое значение осадочных пород

Многие осадочные породы являются полезными ископаемыми (железистые, марганцевые осадочные породы, бокситы на алюминий, фосфориты на фосфор, соли, каменный и бурый уголь, нефть, горючие сланцы). Большая часть пород используется как строительный материал (известняки, мергели, пески, песчаники, конгломераты, яшмы и др.).

3.3 МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

Метаморфизм – эндогенный процесс, протекающий при высоких температурах и (или) давлениях горячих водных растворов и газов. Под влиянием этих факторов породы изменяют свой минеральный состав, структуру и текстуру, валовый химический состав при этом остается неизменным. При метаморфизме образуются устойчивые минеральные ассоциации, называемые **фациями метаморфизма**. Классификация процессов метаморфизма производится по главным факторам и масштабам появления.

Текстура и структура метаморфических пород

Главные породообразующие минералы метаморфических пород имеют пластинчатый или чешуйчатый облик, что связано с условиями их кристаллизации при сильном давлении. Это выражается в развитии *сланцеватой* структуры, характеризующейся тем, что порода распадается на тонкие плитки или пластинки благодаря плоскостной ориентировке породообразующих минералов. Если порода под влиянием направленного давления собрана в мелкие складочки, то текстура называется *плойчатой*. Округлые, овальные обособления среди сланцеватой ткани породы создают *очковую* текстуру. *Катакластическая* текстура характеризуется раздробленностью и деформацией минералов. Из прочих текстур можно выделить полосчатую (линзовидную), пятнистую и массивную.

Структуры метаморфических пород возникают в процессе перекристаллизации породы в твердом состоянии – кристаллобластеза. Такие структуры называются *кристаллобластовыми*. В зависимости от преобладающей формы зерен выделяются *гранобластовая* (лат. гранула – зерно) – зерна имеют изометричную форму, *лепидобластовая* – чешуйчатая форма минералов, *нематобластовая* – призматическая форма минералов. Если облик породы носит неравномерно-зернистый характер, то выделяются порфиробласты на фоне основной ткани, и структура называется *порфиробластовой*.

Типы метаморфизма и его продукты

Региональный метаморфизм (динамотермальный) метаморфизм.

Главными факторами процесса являются высокие температуры и давления. Процесс проявлен на обширных площадях. Рост давлений и температур происходит при складкообразовании и при погружении участков земной коры на глубину при медленных колебательных движениях, сопровождающихся процессом осадконакопления. При этом господствует направленное давление – *стресс*. Продуктами регионального метаморфизма (по мере возрастания температуры) являются следующие породы.

Филлиты – тонкочешуйчатые сланцеватые породы с шелковистым блеском, светло-зеленой или серой окраски, состоящие из кварца, слюд и хлоритов. Сланцы – породы зеленой или серой окраски с лепидобластовой структурой, сланцеватой текстурой, состоящие из кварца, слюд и хлоритов.

Амфибололиты – породы более высокотемпературной ступени, темно-зеленого цвета, нематобластовой структуры, массивной текстуры, состоящие из минералов группы амфиболов.

Гнейсы – светлые породы гранобластовой структуры, полосчатой или очковой текстуры, состоящие из плагиоклаза, кварца, КППШ, слюд, граната-альмадина, т.е. состав гнейсов сходен с составом магматических пород – гранитов.

Эклогиты – темные массивные породы, состоящие из пироксена и граната (пироба).

Гранулиты близки по составу к гнейсам. Но гранат представлен пиропом, темноцветные минералы – ромбическим и моноклинным пироксенами.

Мраморы – породы преимущественно светлой окраски, гранобластовой структуры, массивной, полосчатой или пятнистой текстуры, состоящие из кальцита.

Кварциты – светлые массивные мономинеральные кварцевые породы гранобластовой структуры. Две последние группы пород развиты в широком диапазоне температур и давлений. Температуры при метаморфизме варьируют от 200 1000 °С.

При температуре свыше 650 °С происходит частичное плавление пород. Этот процесс носит название *ультраметаморфизма*. Продукты ультраметаморфизма – *мигматиты*, породы полосчатой текстуры, близкие по составу к гранитам.

Контактовый (термальный) метаморфизм. Главным фактором является высокая температура. Процесс происходит в контактовой зоне интрузий при низких давлениях. Состав продуктов контактового метаморфизма находится в зависимости от состава вмещающих пород.

Роговики – массивные микрозернистые кварц-полевошпатовые породы, разнообразной преимущественно серой окраски. Исходным материалом для них служат глины. *Кварциты* образуются по кварцевым песчаникам, *мраморы* – по карбонатным породам.

Динамометаморфизм. Главным фактором этого типа метаморфизма является давление. Проявлен динамометаморфизм вдоль узких линейных зон разломов. Происходит дробление пород – *катаклиз*. Продукты динамометаморфизма – тектонические брекчии, катаклизиты и милониты. *Тектонические брекчии* – это монолитные породы, состоящие из остроугольных обломков и цемента. *Катаклизиты* – породы, пронизанные сетью трещин. *Милониты* – это тонко перетертые породы.

Метасоматоз. Объединяет все метаморфические процессы, в которых на исходные породы действуют не только водноуглекислые флюиды, но и разнообразные высокотемпературные газы и

растворы, в результате чего состав пород существенно изменяется. Большую роль метасоматоз играет при постмагматических процессах и ультраметаморфизме. Продуктами метасоматоза являются скарны, грейзены и серпентиниты. *Скарны* – это породы массивной текстуры, состоящие из кальцита, пироксенов, граната. Полезные минералы представлены чаще всего магнетитом, реже сульфидами, шеелитом, самородным золотом. Образуются на контакте силикатных интрузивных и карбонатных осадочных пород. *Грейзены* – массивные породы постмагматической стадии, состоящие из мусковита, кварца, турмалина, тупаза, флюорита. Образуются при изменении гранитных и близких им по составу пород. Полезными минералами являются касситерит, берилл, вольфрамит, молибденит. Серпентиниты – мономинеральные породы, состоящие из серпентина, образуются при изменении магматических пород ультраосновного состава.

Практическое значение метаморфических пород

Многие метаморфические горные породы являются полезными ископаемыми: мраморы используются как облицовочный материал и для производства огнеупоров; тальковый сланец – огнеупорный и кислотоупорный материал; железистые кварциты являются первоклассной железной рудой. С грейзенами связаны месторождения олова, вольфрама, молибдена, лития, бериллия; со скарнами – месторождения железа, молибдена, вольфрама, меди, свинца, золота и т.д. С серпентинитами связаны месторождения асбеста.

3.4 ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

ТЕМА: ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД ПО ФИЗИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ

Задание 1

Определите текстуру и структуру горных пород и установите их минеральный состав (образцы горных пород выдаются преподавателем)

Задание 2

Определите текстуру и структуру осадочных пород участка Берге-Даг и установите их минеральный состав.

Определите текстуру и структуру гипербазитов Бай-Тайгинского гипербазитового поля. Установите их минеральный состав и происхождение (классификация горных пород по происхождению).

Задание 3

Опишите текстурно-структурные особенности скарновых метасоматитов Тарданского золоторудного узла. Установите их минеральный состав, а также степень метаморфизма.

Рекомендации по определению магматических пород

Плутонические породы можно определить по минералогическому составу. Необходимо научиться узнавать в них порообразующие минералы (кварц, полевые шпаты, пироксены, амфиболы, слюды и др.). Среди полевых шпатов можно макроскопически определить КПШ (розовые или красные тона, простые двойники) и плагиоклазы (с тонкой продольной штриховкой на поперечных расколах табличек). В крупных зернах можно отличить роговую обманку от пироксена. Роговая обманка образует длиннопризматические кристаллы с ромбическим или псевдогексагональным поперечным сечением с углом между направлениями спайности (в поперечном изломе призм) 56° и 124° . Пироксены представлены обычно короткостолбчатыми зернами с квадратным и прямоугольным поперечным сечением, с углом между двумя направлениями спайности (в поперечном изломе столбиков), близким к прямому ($87-93^\circ$). Оливин отличается от пироксенов округлой формой зерен и отсутствием спайности. Кварц имеет неправильную форму. Нефелин, в отличие от сходного с ним кварца, имеет меньшую твердость (5,5-6,0) и гексагональные сечения.

Вулканические породы определяются, в основном, по минералогическому составу. Хорошо различимы невооруженным глазом только минералы-вкрапленники. О минералогическом составе пород, не содержащих вкрапленников, можно судить по их окраске. С увеличением основности породы ее окраска становится темнее. Чем кислее порода, тем она светлее. В неизмененных породах вкрапленники полевого шпата и цветных минералов имеют сильный блеск, т.к. они не замещены вторичными минералами. Вулканическое стекло, если есть в породе, не раскристаллизовано.

Измененных породах вкрапленники мутные, тусклые, т.к. они замещаются, иногда полностью, вторичными минералами: плагиоклазы – серицитом (микрочешуйчатая разновидность мусковита), эпидотом; КПШ – глинистыми минералами; цветные минералы – эпидотом, хлоритом, актинолитом. Вулканическое стекло раскристаллизовано в микрокристаллический агрегат.

Рекомендации по определению осадочных горных пород

Для правильного определения осадочных пород необходимо учитывать весь комплекс внешних особенностей. Подробно надо описать текстуру: характер слоистости, наличие или отсутствие кавернозности и т.д. точно установить структуру породы, состав, окраску, твердость, излом, удельный вес и другие признаки. Также подробно описываются включения в породе: органические остатки, конкреции, прожилки, различные выделения, выцветы, примазки и т.д. Проверяют на реакцию с соляной кислотой.

Рекомендации по определению метаморфических горных пород

Определение метаморфических пород нужно начинать с установления их минерального состава. Вторым важным признаком является текстура и структура. Имеет значение цвет породы. В конце указывается тип метаморфизма и название исходной породы. Описание метаморфических пород производится по тому же плану, что и магматических: 1) название; 2) цвет, структура и текстура породы; 3) минеральный состав; 4) прожилки минералов, встречающихся в породе; 5) посторонние включения и вкрапления.

Контрольные вопросы по разделу

1. Горными породами называются...?
2. Что изучает петрография?
3. Классификация горных пород по происхождению?
4. Внутреннее строение пород определяется?
5. Мономинеральные и полиминеральные горные породы, и их примеры.
6. Что такое силикатные и феррические породообразующие минералы?
7. Что такое структура и текстура горных пород?
8. Эффузивные породы – это?
9. Интрузивные породы – это?
10. Формы магматических горных пород и их примеры?
11. Классификация магматических пород по химическому составу и их примеры?
12. Экзогенные процессы – это?
13. По условиям образования осадочные породы подразделяют на следующие группы...?
14. Метаморфизм – это?
15. Типы метаморфизма и его продукты

4. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ КАРТЫ И РАЗРЕЗЫ

Геологическая карта отражает геологическое строение земной поверхности и примыкающей к ней верхней части земной коры. Она позволяет не только понять геологическое устройство поверхности Земли, но и составить представление о строении земной коры на ту или иную глубину.

Геологическая карта строится на топографической основе. На ней с помощью условных знаков показываются возраст, состав и условия залегания, обнаженных на земной поверхности горных пород. В зависимости от того, какие особенности строения хотят отразить на геологических картах, их делят на несколько типов. Важное значение имеют **карты полезных ископаемых**, на которые наносится информация о присутствующих в горных породах месторождениях минерального сырья и закономерностях их распространения. Карты с изображением состава пород называют **петрографическими** и **литологическими**. На **тектонических картах** указываются основные структурные элементы земной коры, деформации пород, время и условия их формирования. **Карты четвертичных отложений** показывают распространение самых молодых континентальных и местами морских горных пород. Карты, характеризующие распространение и условия залегания подземных вод, называются **гидрогеологическими**. На **геоморфологических картах** изображаются основные элементы рельефа земной поверхности, разделенные по происхождению и времени образования. Существуют и другие, в еще большей степени специализированные геологические карты. Особое значение в настоящее время приобретают **карты глубинных горизонтов** со «снятыми» более молодыми комплексами пород.

Прежде чем перейти к изложению принципа их составления, необходимо коснуться одной весьма важной условности, к которой вынуждены прибегать геологи в связи с тем, что более 90% поверхности суши покрыто породами четвертичного возраста, представленными различного рода континентальными образованиями аллювиальными, озерными, делювиальными, элювиальными, золовыми, ледниковыми и др. Поэтому, если бы формально следовали вышеприведенному определению геологической карты, отражающей распространение горных пород на поверхности, то на них почти повсеместно были бы показаны породы четвертичного возраста, а более древние толщи изображались лишь на небольших участках. Между тем именно дочетвертичные, т.е. «коренные», породы вмещают основную часть полезных ископаемых, и поэтому в общем случае геологическая карта с изображением строения только пород четвертичного возраста была бы малополезной. С другой стороны, покров четвертичных отложений также нередко включает полезные ископаемые, например, строительные материалы, россыпные месторождения золота, олова и т. д. Для того чтобы выйти из возникшего затруднения, обычно *собственно геологической картой принято называть такую, на которой удален покров четвертичных континентальных отложений*. Он сохраняется лишь там, где невозможно установить строение коренных пород под четвертичными отложениями, или в тех случаях, когда последние либо включают полезные ископаемые, либо имеют морское происхождение.

Масштабы геологических карт весьма различны. Существуют мелкомасштабные геологические карты, имеющие масштабы 1:500000 и мельче (например, Геологическая карта СССР масштаба 1:2500000 и др.). Следующая группа охватывает среднемасштабные – 1:200000 и 1:100000 – геологические карты. Геологическая карта масштаба 1:200000, составленная в листах международной разграфки, покрывает всю территорию СССР. Третью группу образуют крупномасштабные – 1:50000 и 1:25000 – геологические карты, отражающие строение горнопромышленных областей и районов. К последней группе относят детальные геологические карты, которые составляются для районов распространения тех или иных полезных ископаемых (например, угля, нефти, железа и др.), для участков, охватывающих какое-либо одно месторождение или его часть, а также для промышленного и гражданского строительства. Масштабы этих карт 1:25000 и крупнее.

4.1 Геохронологическая шкала

В основе составления геологических карт лежат литолого-стратиграфический и структурный принципы. В соответствии с ними все горные породы рассматриваются с учетом их состава, условий и времени происхождения, последующего преобразования и взаимных связей в пространстве. При геологическом картировании, т. е. при составлении геологических карт, необходимо прежде всего знать возрастную (геохронологическую) последовательность пород, участвующих в строении изучаемого района. В связи с этим важнейшей задачей является определение относительного возраста горных пород, т. е. установление того, какие породы сформировались раньше, а какие позднее и к какой геохронологической единице они относятся.

Среди существующих методов определения относительного возраста наиболее распространенными являются стратиграфический, петрографический и палеонтологический.

Стратиграфический метод (от латинского стратум – слой) заключается в изучении взаимоотношений слоев друг с другом, прослеживании комплексов слоев и отдельных горизонтов на площади и установлении последовательности их образования во времени.

Обычно в природе осадки накапливаются слоями, налегающими друг на друга, поэтому нижний слой древнее расположенных над ним слоев. Это правило справедливо для ненарушенного (первичного) залегания слоев, т.е. залегания, сформировавшегося в процессе осадконакопления. Однако первичное залегание может быть изменено последующими тектоническими движениями: слои оказываются смятыми в складки, разорванными или перемещенными относительно друг друга. Кроме того, слои часто не прослеживаются на значительные расстояния, а обнажаются на поверхности только на небольших участках. В таких случаях определить относительный возраст стратиграфическим методом очень трудно или невозможно, поэтому используются литологический и петрографический методы, основанные на сравнении горных пород по их составу и особенностям строения.

Наиболее надежен палеонтологический метод определения относительного возраста, заключающийся в изучении остатков животных организмов (фауны) и растений (флоры) в породах. Обнаружение одинаковых палеонтологических остатков в породах на участках, даже значительно удаленных друг от друга, позволяет установить их одновозрастность – независимо от состава и условий залегания слоев.

При установлении времени образования и сопоставлении отложений в настоящее время все в более широком масштабе применяются определения абсолютного возраста породы (т.е. возраста в абсолютных единицах времени – годах, тысячелетиях, миллионах лет) радиологическими методами, основанными на изучении природной радиоактивности минералов. Из этих методов широкое распространение получили свинцово-изотопный, калий-аргоновый, рубидиево-стронциевый, самарий-неодимовый и углеродный, позволяющие определять абсолютный возраст и магматических, и осадочных, и метаморфических горных пород.

К настоящему времени создана единая геохронологическая шкала, отражающая историю развития земной коры. В геохронологической шкале приняты следующие временные и соответствующие им стратиграфические подразделения.

*Подразделения по времени
(геохронологические)*

*Эон
Эра
Период
Эпоха
Век*

*Подразделения по возрасту отложения
(стратиграфические)*

*Эонотема
Эратема (группа систем)
Система
Отдел
Ярус*

Наиболее длительным по времени является эон (греч. – длительный промежуток времени). В геологической истории Земли выделяется три эона (табл.): **архей** (греч. архео – древний), **протерозой** (греч. протерос – первый) и **фанерозой** (греч. фанерос – явный). Весь огромный отрезок геологического времени (более 3,2 млрд лет) и комплексы пород, соответствующие архею и протерозою, часто объединяют под общим названием **докембрий**.

Таблица 4.1 Геохронологическая (стратиграфическая) шкала

Эон (эонотема)	Эра (эратема группа систем)	Под группа	Длительность (возраст от начала эры) млн. лет	Период (система)	Эпоха (отдел)	Цветовое обозначение	
1	2	3	4	5	6	7	
Фанерозой	Кайнозойская KZ		65	1,7 – 1,8	Четвертичный (четвертичная) Q	Голоцен Плейстоцен Эоплейстоцен	Бледно-серый
				22	Неогеновый (неогеновая) N	Поздненеогеновая, или плиоценовая (плиоценовый) N ₂	Желтый
				23		Ранненеогеновая, или миоценовая (миоценовый) N ₁	
			41	Палеогеновый (палеогеновая) P	Позднепалеогеновая, или олигоценовая (олигоценовый) P ₃	Оранжево-желтый	
			65		Среднепалеогеновая, или эоценовая (эоценовый) P ₂		
					Раннепалеогеновая, или палеоценовая (палеоценовый) P ₁		
	Мезозойская MZ		170	70	Меловой (меловая) K	Позднемеловая (верхнемеловой) K ₂	Зеленый
				135		Раннемеловая (нижнемеловой) K ₁	
				55 – 60	Юрский (юрская) J	Позднеюрская (верхнеюрский) J ₃	Синий
				190		Среднеюрская (среднеюрский) J ₂	
						Раннеюрская (нижнеюрский) J ₁	
				40 – 45	Триасовый (триасовая) T	Позднетриасовая (верхнетриасовый) T ₃	Фиолетовый
		Среднетриасовая (среднетриасовый) T ₂					
		Раннетриасовая (нижнетриасовый) T ₁					

1	2	3	4	5	6	7	
Фанерозой	Палеозойская PZ	Верхний палеозой PZ ₂	230	50 – 60	Пермский (пермская) P	Позднепермская (верхнепермский) P ₂	Оранжево-коричневый
			170			285	
				50 – 60	Позднекаменноугольная (верхнекаменноугольный) C ₃	Серый	
					350		Среднекаменноугольная (среднекаменноугольный) C ₂
				60	Девонский (девонская) D		Раннекаменноугольная (нижнекаменноугольный) C ₁
				405		Позднедевонская (верхнедевонский) D ₃	Коричневый
					Нижний палеозой PZ ₁	25 – 30	
		435	Раннедевонская (нижнедевонский) D ₁				
		170 – 180	45 – 50	Ордовикский (ордовикская) O		Позднесилурийская (верхнесилурийский) S ₂	Серо-зеленый (светлый)
					480	Раннесилурийский (нижнесилурийская) S ₁	
			90 – 100	Кембрийский (кембрийская) E	Позднеордовикская (верхнеордовикская) O ₃	Оливковый	
		570			Среднеордовикская (среднеордовикская) O ₂		
		Среднеордовикская (среднеордовикская) O ₁					
		90 – 100	Кембрийский (кембрийская) E	Позднекембрийский (верхнекембрийская) E ₃	Сине-зеленый (темный)		
				Среднекембрийский (срнекембрийская) E ₂			
				Раннекембрийский (нижнекембрийская) E ₁			

1	2	3	4	5	6	7
Протерозой PR		Верхний протерозой PR ₃	570	Вендский (вендская) V		Сиренево-розовый
			90 – 110			
			680			
		1650	Рифейский (рифейская) R			
Нижний протерозой PR ₁						
	2600					
Архей AR			3800			Розовый

Примечания

1. Палеогеновая и неогеновая системы ранее объединялись в третичную систему
2. До 1970 г существовало иное обозначение некоторых периодов палеоген имел индекс Pg мел Сг кембрий Ст группы (эры) обозначались следующим образом кайнозой Kz, мезозой Mz, палеозой Pz, протерозой Pt, археи А
3. До 1978 г в протерозойской группе выделяли три подгруппы нижнепротерозойскую (PR₁) среднепротерозойскую (PR₂) и верхнепротерозойскую (PR₃)
4. Венд и рифей отнесены к периодам (системам) условно их значение в геохронологической шкале пока не установлено
5. 3800 млн. лет возраст самых древних пород, установленных на земной поверхности

Деление эонов возможно не всегда. Архей до настоящего времени остается нерасчлененным, а протерозой разделен на ранний и поздний. Последний расчленяется на рифей и венд. В фанерозое выделяется три эры и соответствующие им эратемы (группы систем): **палеозойская эра – эратема** (греч. палαιός – древний), **мезозойская эра – эратема** (греч. мезос – средний) и **кайнозойская эра – эратема** (греч. кайнос – новый).

Подразделения эр и эратем указаны в табл. 6, где приведены абсолютный возраст, геохронологические и соответствующие им стратиграфические подразделения, и индексы для условных обозначений, а в последней колонке указана условная окраска, применяемая при изображении стратиграфических подразделений на геологических картах и разрезах. Названия систем и соответствующих им периодов даны либо по названию местности, где отложения соответствующего возраста были впервые установлены (пермская), либо по характерным особенностям отложений (каменноугольная, меловая), либо по народностям, населявшим ту или иную территорию (силурийская), либо по характеру внутренних подразделений (триас – тройной).

В четвертичном периоде (системе) из-за его малой длительности выделяются особые подразделения, именуемые разделами и звеньями. Ранний из разделов именуется эоплейстоценом, средний – плейстоценом, а поздний – голоценом.

На геологических картах используются следующие деления стратиграфических единиц: группы, системы, отделы, ярусы. Не следует смешивать подразделения стратиграфические и геохронологические. Например, нельзя сказать, что «человек появился в четвертичной системе». Правильным будет выражение «человек появился в четвертичном периоде». Нельзя говорить: «породы каменноугольного периода», надо: «породы каменноугольной системы». Временные подразделения, соответствующие нижнему, среднему и верхнему отделам какой-либо системы, необходимо именовать как ранняя, средняя, поздняя эпохи (например, раннеюрская эпоха или ранняя юра и т. д.). Нельзя говорить: «нижнеюрская или верхнеюрская эпоха», так как время не может быть нижним и верхним. Деление на нижнее, среднее и верхнее – чисто стратиграфическое, относящееся к последовательности наложения, образования пород и употребляемое на колонках, разрезах и картах. Например, для раннеюрской эпохи на карте указывается нижний отдел юрской системы.

4.2 УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ НА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ КАРТАХ

Для указания состава, времени формирования и условий залегания горных пород на геологических картах применяются особые условные знаки, которые могут быть цветовыми, буквенными, цифровыми или штриховыми. Условные знаки разрабатывались на протяжении длительного времени как отечественными, так и зарубежными геологами.

Таблица 4.2 Цветовые обозначения магматических пород

Породы	Состав	Цвет
Интрузивные	Кислые	Красный
	Щелочные	Красновато-оранжевый
	Средние	Зеленый
	Основные	Синий
	Ультраосновные	Фиолетовый
Новейшие эффузивные	Кислые	Оранжевый
	Средние и основные	Зеленый

Цветовые знаки применяются для обозначения возраста осадочных и вулканических пород, а также состава интрузивных и новейших (неогеновых и четвертичных) вулканических пород. Каждой системе придан определенный цвет и буквенный индекс (см. табл. 6). Более дробные подразделения (отдел, ярус) закрашивают цветом соответствующей системы; при этом более древние подразделения имеют темный тон соответствующего цвета, а более молодые – светлый тон того же цвета. Например, отложения нижнего отдела меловой системы закрашиваются зеленым цветом, а верхнего – светло-зеленым. Интенсивность раскраски древних подразделений подбирают так, чтобы на карте легко читалась топографическая основа. Для раскраски магматических пород используются цвета, указанные в табл. 3.2.

Буквенными и цифровыми обозначениями (индексами) обозначается возраст, а для интрузивных и вулканических пород – и их состав.

В составлении индекса осадочных, эффузивных и метаморфических пород существуют определенные правила. Вначале ставится латинизированное название системы в виде заглавной

(первой буквы слова): например, каменноугольная система – С. Состав пород в индексе не отражается. Отдел обозначается арабской цифрой, помещенной справа внизу у индекса системы: например, нижний отдел каменноугольной системы – С₁. Далее следует индекс яруса, составленный из одной или двух начальных строчных букв его латинизированного названия, например, С₁t – турнейский ярус нижнего отдела каменноугольной системы; части яруса (подъяруса) указываются также арабскими цифрами С₁t₂.

Нередко возникает необходимость введения, помимо общепринятых стратиграфических подразделений, вспомогательных (местных), которые должны быть обязательно увязаны с подразделениями общепринятой шкалы. Наиболее обычными из вспомогательных подразделений являются серии и свиты. Индексы их образуются из двух латинских букв: первой и ближайшей согласной буквы названия. Указанные индексы, написанные курсивом, присоединяются справа к индексу группы, системы, отдела; например, индекс кизыльской свиты нижнего карбона визейского яруса будет выглядеть следующим образом: С₁v_{kz}.

Следует подчеркнуть, что индекс может быть составлен из одного или нескольких стратиграфических подразделений, однако нем обязательно должно присутствовать обозначение системы. В том случае, когда необходимо отразить присутствие в одном стратиграфическом подразделении двух систем, отделов или ярусов, индекс составляется посредством знака плюс (+) или тире (-). Плюс ставится в том случае, если объединяются полностью два соседних подразделения (например, С+Р). а тире – если объединяются части систем (например, J₃ – К), причем на первом месте всегда указывается индекс более древнего подразделения. Для обозначения генезиса осадочных горных пород применяются строчные латинские буквы: m – морские, g – ледниковые, f – флювиогляциальные, a – аллювиальные и т. д. Размещаются эти буквы перед обозначением системы (например, aQ – аллювиальные четвертичные отложения).

При чтении индекса следует соблюдать определенный порядок от более крупного подразделения последовательно к более мелкому; например, индекс С₁t₁ будет читаться так: «цэ» – один, «тэ» – один.

Индексация интрузивных и эффузивных пород по вещественному составу проводится с помощью следующих прописных и строчных букв греческого алфавита:

Интрузивные породы

Граниты γ (гамма малая);

Диориты δ (дельта малая);

Сиениты ξ (кси малая);

Габбро ν (ни малая);

Пироксениты, перидотиты, дуниты σ (сигма малая);

Нефелиновые сиениты ε (эпсилон);

Эффузивные породы:

Риолиты λ (лямбда малая);

Кварцевые порфиры λ' (лямбда малая прим);

Трахиты τ (тау малая);

Андезиты α (альфа малая);

Андезитовые порфириты α' (альфа малая прим);

Базальты β (бета малая);

Диабазы β' (бета малая прим).

Для указания возраста магматических пород рядом с индексом состава ставится возрастной индекс: например, γС₃ – позднекаменноугольные граниты. Таким же образом индексируются новейшие вулканические породы, не перекрытые более поздними отложениями, например: βN₂ – базальты позднеэоценового возраста.

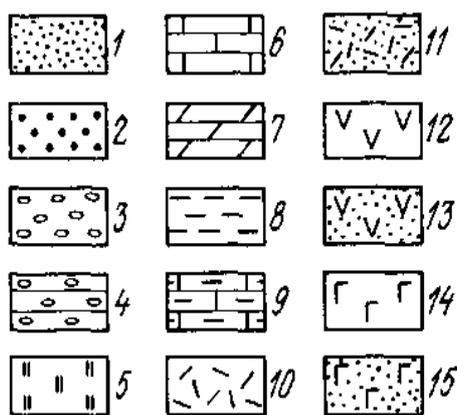


Рис. 4.1 Штриховые условные знаки:

1 – пески; 2 – песчаники; 3 – галечники; 4 – конгломераты; 5 – кремнистые породы (яшмы, опоки, диатомиты); 6 – известняки; 7 – доломиты; 8 – глины; 9 – мергели; 10-11 – породы кислого состава, 10 – лавы, 11 – туфы; 12-13 – породы среднего состава, 12 – лавы, 13 – туфы; 14-15 – породы основного состава, 14 – лавы, 15 – туфы.

Штриховые обозначения применяются обычно на геологических картах, разрезах и стратиграфических колонках, выполненных каким-либо одним цветом, например, черным. Наиболее употребительные штриховые знаки приведены на рис. 4.1.

Геологические границы на картах изображаются различными знаками. Установленные геологические границы показываются сплошными тонкими черными линиями, предполагаемые – пунктирными (прерывистыми), границы между различными по составу, но разновозрастными породами (фациальные) – точечными (пунктирными) линиями.

4.3 Стратиграфия

Слоем называется более или менее однородный, первично обособленный осадок (или горная порода), ограниченный поверхностями наслоения. Помимо термина «слой», в практике употребляется термин «пласт». Последний применяется чаще по отношению к полезным ископаемым, например, к углю, известняку, гематиту и т. д. Пласт может заключать в себе несколько слоев. Однородность слоев может быть выражена в составе, окраске, текстурных признаках, присутствии одинаковых включений или окаменелостей. Когда говорят о слоистых толщах, подразумевают чередование слоев. Смена одного слоя другим может быть резкой или постепенной. В последнем случае переход слоя к ниже – или вышележащему происходит при постепенном изменении состава осадка или породы. Поверхности, разграничивающие слои или пласты, обычно бывают неровными. Они называются поверхностями наслоения. Верхняя из них – кровля слоя, а нижняя – подошва. Расстояние между кровлей и подошвой слоя (или пласта) называют – мощностью.

Различают три вида мощностей: истинную, видимую и неполную (рис. 4.2, I). *Истинной мощностью* h (см. рис. 4.2, II) называется кратчайшее расстояние между кровлей и подошвой. Расстояние между кровлей и подошвой, отличное от нормального, составляет *видимую мощность*, a (см. рис. 4.2, II). Если измеряют расстояние от кровли или подошвы слоя (или пласта) до любой поверхности, находящейся внутри слоя (пласта), то говорят о его *неполной мощности*. Очень редко удается измерить истинную мощность непосредственно в обнажении. В большинстве случаев мы наблюдаем видимую мощность, а истинную приходится вычислять. При горизонтальном залегании и выровненном рельефе земной поверхности для определения мощности пород проходят выработки или бурят скважины. Если рельеф неровный, то истинную мощность горизонтально залегающего слоя можно получить путем расчетов. Установив тем или иным способом абсолютные отметки кровли и подошвы, вычисляют разность между ними, которая и будет составлять истинную мощность. Например, абсолютная отметка кровли пласта 187 м, а подошвы- 163 м, тогда $h=183-163 = 24$ м (см. рис. 4.2, II). Можно определить также истинную мощность, измерив предварительно видимую мощность, a (расстояние по склону между кровлей и подошвой) и угол α наклона рельефа, по формуле $h = asin\alpha$.

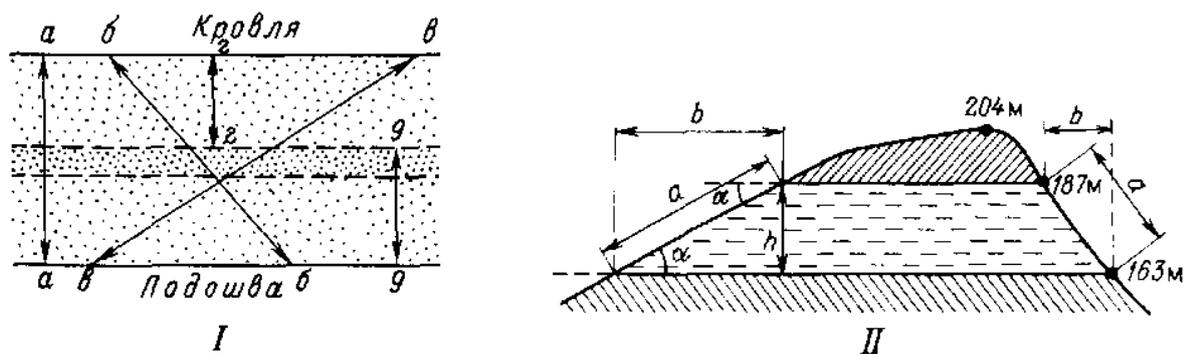


Рис. 4.2 Мощность слоя и ее определение:

I — различные виды мощности слоя (пласта); а-а — истинная, б-б, в-в — видимая, г-г, д-д — неполная. II — определение мощности горизонтально залегающего слоя h — истинной, a — видимой; b — ширина выхода слоя, α — угол наклона рельефа, цифры — абсолютные отметки поверхности рельефа

Угловые несогласия

Возможны два случая соотношения слоистых толщ. В первом каждая вышележащая толща без каких-либо следов перерыва в накоплении осадков налегает на подстилающие породы, образуя **согласное залегание слоев**. Во втором случае между вышележащей и подстилающей ее толщами стратиграфическая последовательность прерывается, в результате чего появляется **стратиграфическое несогласие**. Перерыв в осадконакоплении может быть различным: и очень длительным, и кратковременным. Отсутствие тех или иных пород в разрезе обычно связывается с прекращением осадкообразования, вызываемого положительными движениями земной коры или подводными течениями, при которых наступают разрушение и размыв ранее сформировавшихся пород или осадки просто не отлагаются.

Стратиграфические несогласия по ряду признаков могут быть разделены на несколько различных видов. Особенно важны угловые несогласия, выражающиеся в том, что поверхность несогласия срезает под углом различные горизонты относительно более древней толщи и располагается более или менее параллельно слоям верхней молодой толщи. Этот признак является одним из наиболее важных для установления углового несогласия. При угловом несогласии как верхняя, так и нижняя толщи, разделенные поверхностью несогласия, залегают различно. Перекрывающая более молодая по возрасту толща имеет обычно меньшие углы наклона или даже горизонтальное залегание, но может быть и параллельна по отношению к более древней толще. Важное значение имеет **угол несогласия α** , составленный поверхностями наложения нижней и верхней несогласно залегающих толщ (рис. 4.3). В том случае, если угол несогласия меньше 30° , говорят о слабом угловом несогласии; в других случаях угловое несогласие называется резким. При этом следует иметь в виду, что угол несогласия не остается неизменным. Особенно резко угол несогласия может меняться в том случае, если нижняя, более древняя толща смята в складки (см. рис. 4.3).

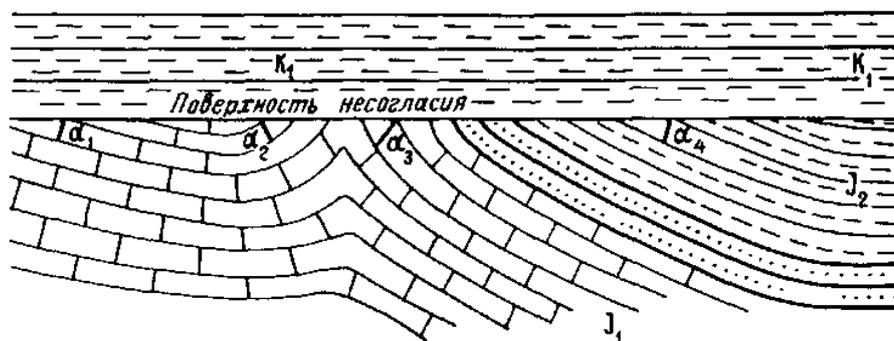


Рис 4.3 Изменение величины углового несогласия в различных частях складки $\alpha_1 - \alpha_2$ — углы несогласия

Стратиграфические колонки и геологические разрезы

Средне-, крупномасштабные и детальные геологические карты обычно сопровождаются стратиграфическими колонками и разрезами.

На стратиграфической колонке (рис. 4.4) в возрастной последовательности снизу-вверх от древних к молодой условной штриховке изображаются дочетвертичные осадочные, вулканические и метаморфические породы, развитые на территории, представленной на карте (рис. 4.5). Интрузивные образования на колонке не показываются.

Породы на колонке расчленяются в соответствии с выделяемыми на карте стратиграфическими подразделениями. Слева от колонки указываются стратиграфическое положение пород (система, отдел, ярус) и индекс; справа – мощность (в метрах) и состав пород. В последней графе приводятся все более мелкие стратиграфические подразделения, имеющиеся на карте (серии, свиты и т. д.) и встреченные в слоях окаменелости. Масштабы для построения колонок в зависимости от общей мощности пород могут быть различными. Их высота не должна превышать 40-50 см, ширина граф 1-4 см. При колебаниях мощности в колонке отражается максимальное ее значение, а цифрами указываются крайние пределы. Согласно границе на колонке изображаются прямыми линиями, параллельные несогласия – волнистыми, а угловые – зубчатыми.

Геологические разрезы представляют собой изображение залегания пород на плоскости вертикального сечения земной коры от ее поверхности на ту или иную глубину. Они могут отстраиваться по геологической карте, данным буровых скважин, геофизическим или каким-либо иным материалам. На геологической карте разрезы составляются по прямым (а при необходимости и по ломаным) линиям в направлениях, которые дают наиболее полное представление о залегании пород, слагающих изображенную на карте территорию. При наличии опорных скважин разрезы следует проводить через них. На концах линий разреза и в местах ее излома ставятся литерные буквы (русские) в алфавитном порядке.

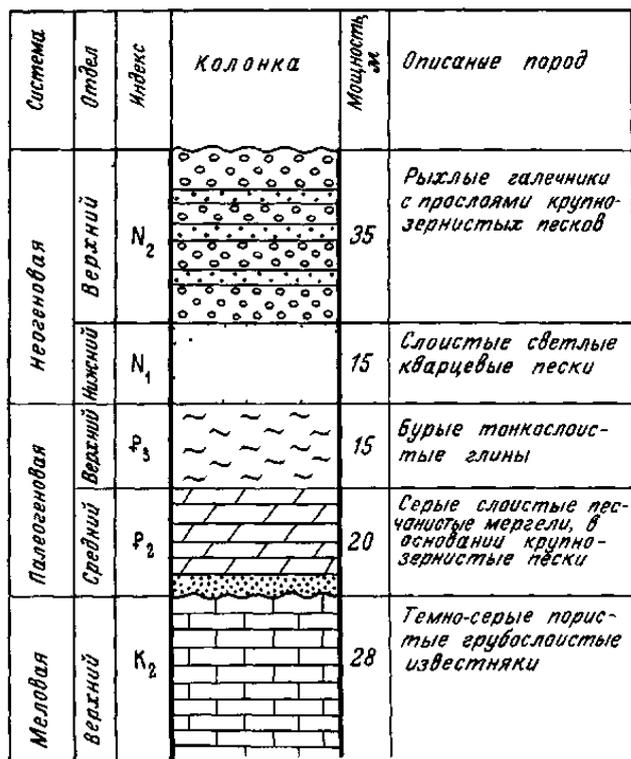


Рис 4.4 Стратиграфическая колонка
Взаимоотношения в залегании четвертичных отложений обычно показываются на отдельной схеме у геологической карты



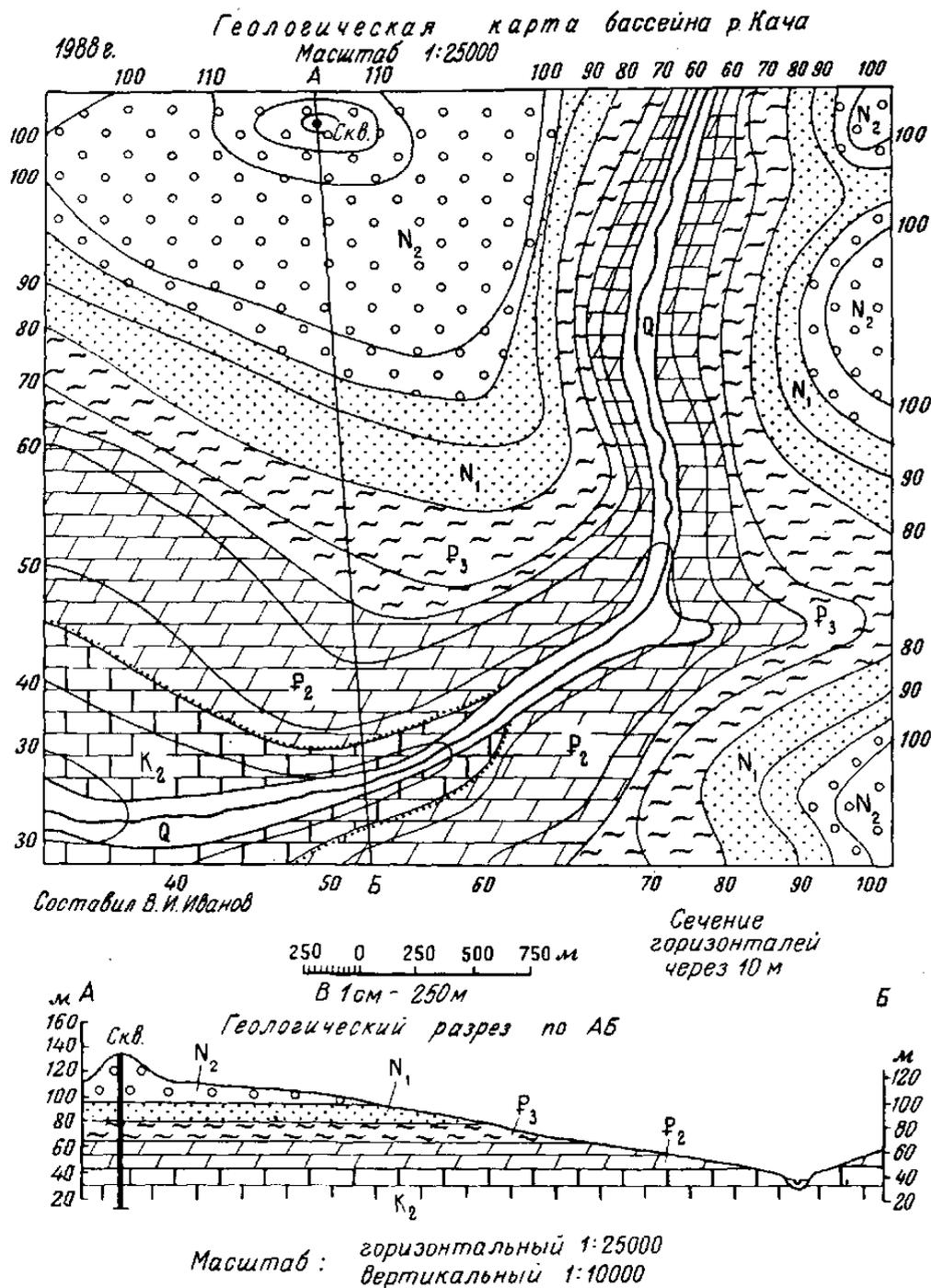


Рис. 4.5 Геологическая карта и геологический разрез района, сложенного горизонтально залегающими породами

Горизонтальный и вертикальный масштабы разрезов должны соответствовать масштабу карты. Увеличение вертикального масштаба допустимо только для районов с пологим или горизонтальным залеганием пород. Искажать вертикальный масштаб следует до значений, при которых мощность слоя, имеющего минимальное значение на разрезе, будет иметь ширину не менее 1 мм. На каждом разрезе должны быть показаны: гипсометрический профиль местности, линия уровня моря, Шкала вертикального масштаба с делениями через 1 см (на обоих концах разреза) и буквенные обозначения, соответствующие указанным на карте. Буровые скважины изображаются на разрезах либо черными сплошными линиями, если они попадают на

линию разреза или располагаются вблизи нее, либо штриховыми линиями – при проектировании их на плоскость разреза. Забой скважины ограничивается короткой горизонтальной линией в виде подсечки.

Разрезы составляются, раскрашиваются и индексируются в полном соответствии с геологической картой. Для каждого листа геологической карты обычно дается один-три разреза. Все геологические границы на разрезах (согласные, несогласные и др.) показываются одним знаком – в виде сплошных черных тонких линий. Глубина разреза обуславливается теми данными, которыми располагает составитель. Слева на чертеже разреза располагаются 3, СЗ, ЮЗ и Ю, а справа – В, СВ, ЮВ и С.

Следует обратить внимание на зарамочное оформление средне-, крупномасштабных и детальных геологических карт. Обычно геологическая карта, стратиграфическая колонка и геологические разрезы монтируются на одном листе. Геологическая карта помещается на середине листа так, чтобы ее северная рамка находилась в верхней части листа. В заголовке над северной рамкой карты указывают название карты, район и числовой масштаб. Год составления карты располагают над рамкой слева. Автор – составитель карты – указывается слева под рамкой карты. В середине под рамкой приводятся числовой и линейный горизонтальный масштабы и сечение горизонталей (см. рис. 4.4). Справа от восточной рамки карт помещаются условные обозначения, а слева от западной – стратиграфическая колонка. Геологические разрезы располагаются внизу под южной рамкой карты.

Условные обозначения составляют в следующем порядке. Вначале в стратиграфической последовательности (от молодых к древним) указываются осадочные, вулканогенные и метаморфические породы, далее в той же возрастной последовательности – интрузивные и жильные образования, ниже следуют все прочие условные обозначения (геологические границы, элементы залегания слоев и др.).

Горизонтальное залегание

Горизонтальное залегание слоев характеризуется общим горизонтальным или близким к нему расположением поверхности наложения на большом пространстве. Иногда в процессе осадконакопления образующиеся слои в некоторых участках приобретают небольшой наклон. Такие залегающие горизонтально или местами с небольшим (не более $1-2^\circ$) наклоном породы покрывают огромные территории европейской части СССР, Западной Сибири и других областей.

При горизонтальном залегании абсолютные высоты какой-либо определенной поверхности наложения приблизительно одинаковы. Это может быть установлено следующими способами. При нанесении на топографические карты (с рельефом, изображенным с помощью горизонталей) выходов на дневную поверхность слоев или слоистых толщ границы между последними совмещаются с одноименными горизонталями или проходят между ними в соответствии с абсолютной высотой наносимой на карту границы (т.е. совпадают с одной из промежуточных горизонталей). Так как при горизонтальном залегании каждый нижележащий слой является более древним, чем перекрывающий, то при расчлененном рельефе на водоразделах наблюдаются наиболее молодые породы (из обнаженных на данном участке), а в пониженных участках (в долинах) располагаются более древние отложения. При выровненном рельефе и горизонтальном залегании один и тот же слой может слагать большие пространства поверхности Земли.

Типы тектонических нарушений

Все формы тектонических нарушений первоначального залегания горных пород делятся на три типа: 1) наклонное; 2) складчатое, или так называемое пликативное, характеризующееся изгибами слоев без разрыва их сплошности; 3) разрывное, или дизъюнктивное, при котором слои или массивы пород в результате образования в них разрывов теряют сплошность. Нередко типы тектонических нарушений сочетаются и наклонные или складчатые формы осложняются разрывными нарушениями.

Наклонное залегание

Простейшим видом тектонических нарушений является наклонное залегание слоев, частным случаем которого может быть моноклиальное залегание. Моноклиально залегающими называются слои в пределах некоторого участка, наклоненные строго в одну сторону и имеющие постоянный угол падения. Если такое залегание наблюдается на значительном протяжении, то говорят о моноклиальной структуре, или моноклинали, т. е. выделяют самостоятельную тектоническую структуру. В качестве примера можно привести залегание меловых и палеогеновых отложений Горного Крыма, где слои наклонены на запад-северо-запад с углами падения $5-10^\circ$ и более.

Элементы залегания слоя

Для точной характеристики геологической структуры необходимо иметь представление о залегании слоев, т. е. о положении их в пространстве относительно стран света и горизонтальной поверхности Земли. С этой целью введено понятие об элементах залегания слоя (или любой наклонной плоскости – сброса, надвига, стенки трещин, жил, поверхности интрузивного тела и т. д.), которыми являются простирание, падение и угол падения.

Простирание – это протяженность слоя на горизонтальной поверхности Земли. Оно определяется ориентировкой линии простирания.

Линия простирания слоя – любая горизонтальная линия, лежащая в плоскости наложения, т.е. линия пересечения подошвы или кровли слоя с горизонтальной плоскостью. Таких линий в плоскости слоя можно провести множество; отличаются они абсолютными высотными отметками (рис. 4.6, I, линии ab , a_1b_1 , a_2b_2).

В тех случаях, когда слой плоский, линия простирания представляет собой прямую линию. Если слой изгибается по простиранию, то соответственно будет изгибаться и линия простирания. В этом случае простирание в каждой точке может быть измерено по касательной к этой точке.

Азимут линии простирания (или просто азимут простирания) – это горизонтальный угол, отсчитываемый от северного направления географического меридиана по ходу часовой стрелки до линии простирания. Азимут простирания может меняться от 0 до 360°. Так как любая линия простирания имеет два взаимно противоположных направления, то и азимут простирания может быть выражен двумя значениями, отличающимися на 180° (см. рис. 4.6, II, α_1 и α_2).

Падение слоя определяется двумя показателями: направлением падения и углом падения. Направление падения слоя (или любой плоскости) характеризуется ориентировкой его линии падения по отношению к странам света и определяется азимутом линии падения.

Линия падения слоя (см. рис. 4.6, I линия $вz$) – это линия наибольшего наклона подошвы или кровли слоя. Она перпендикулярна к линии простирания, лежит на плоскости наложения и направлена в сторону ее наклона. Из определения следует, что в плоскости однообразно падающего слоя можно провести произвольное число линий простирания и падения, но все линии простирания будут параллельны между собой; параллельны между собой и все линии падения.

Другая линия, лежащая в плоскости наложения и перпендикулярная к линии простирания, но направленная вверх, в сторону, обратную линии падения, называется линией восстания слоя (см. рис. 4.6, I, линия $в.д$).

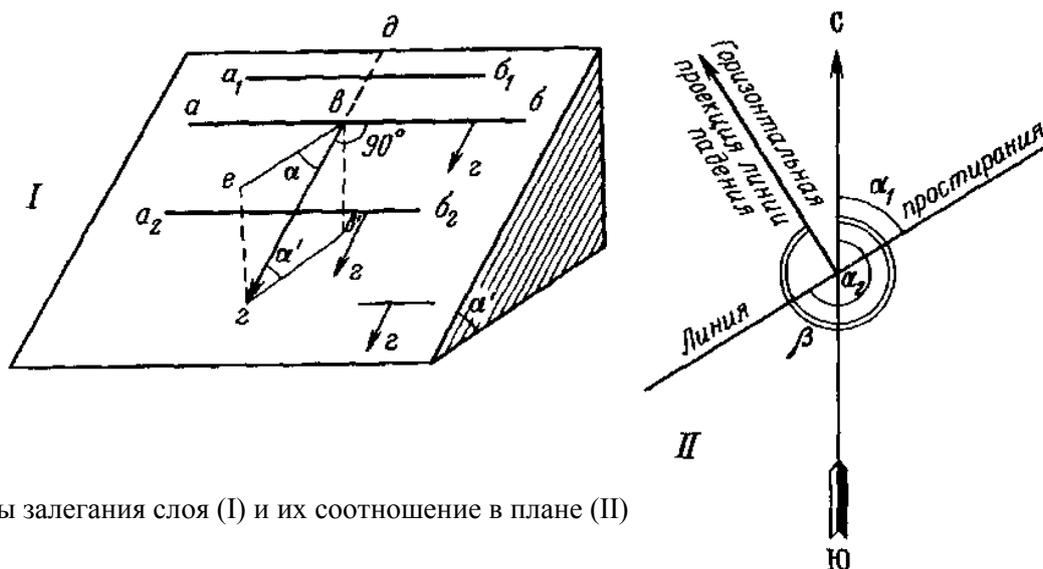


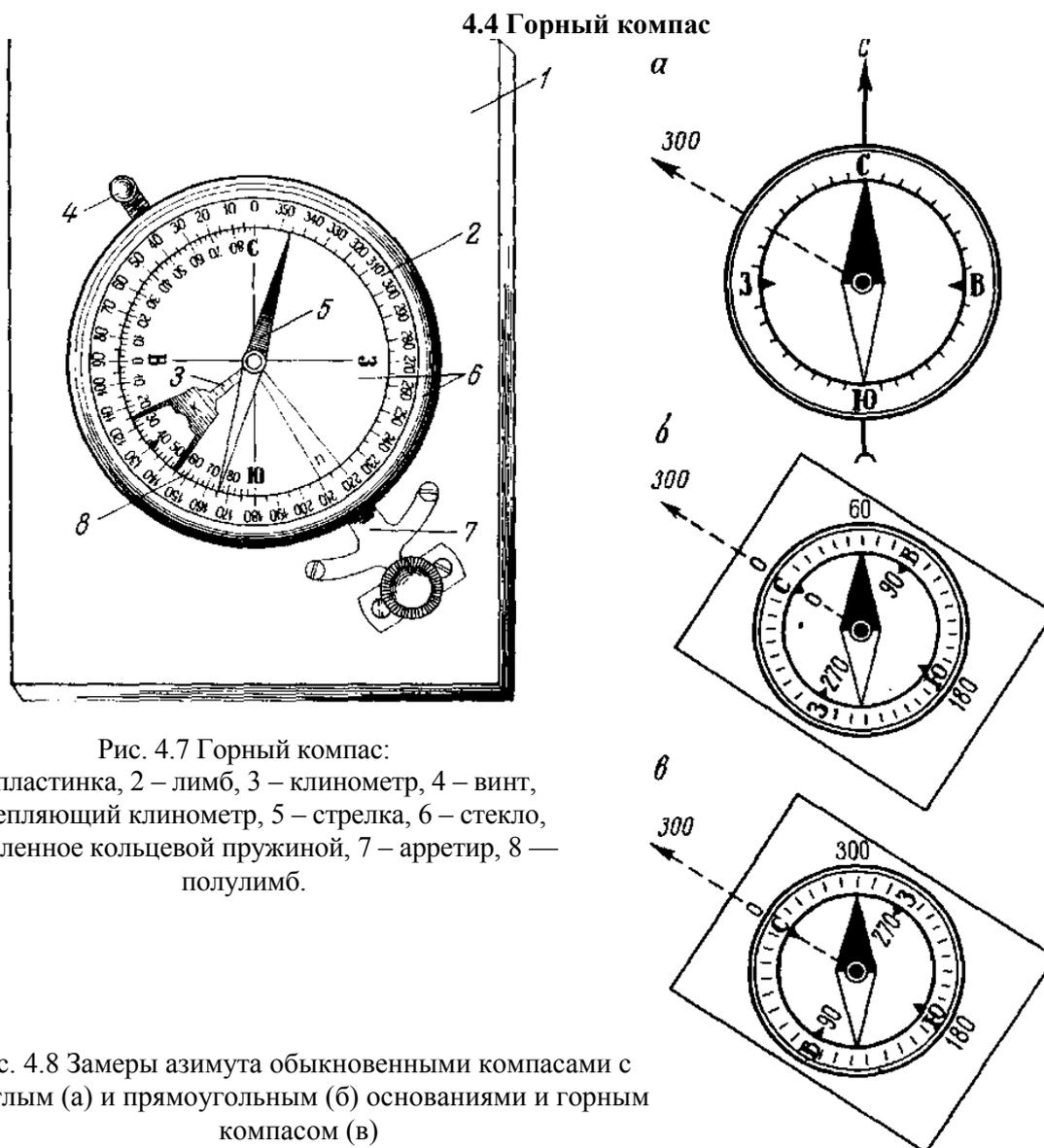
Рис. 4.6 Элементы залегания слоя (I) и их соотношение в плане (II)

Азимут линии падения (или просто азимут падения) – это правый векториальный горизонтальный угол, отсчитываемый от северного направления географического меридиана до проекции линии падения на горизонтальную плоскость (см. рис. 4.6, II, угол β). Азимут падения может меняться в зависимости от положения слоя в пределах от 0 до 360°. Он имеет, в отличие от азимута простирания, только одно значение.

Так как линии простираения и падения взаимно перпендикулярны, то азимуты их отличаются на 90° . Следовательно, определив азимут падения, можно вычислить азимут простираения, вычитая или прибавляя 90° к значению азимута падения. Обратную операцию – получить азимут падения, зная азимут простираения, – проделать нельзя. Если при выяснении простираения безразлично, по какому концу линии мы будем его ориентировать, т.е. разница в азимуте на 180° не изменяет положения в пространстве линии простираения, то о направлении падения, этого сказать нельзя. Ошибиться на 180° здесь недопустимо, так как это будет направление, обратное падению слоя.

Для полной характеристики залегания слоя необходимо установить также угол его наклона по отношению к горизонтальной поверхности, т.е. угол падения.

Угол падения – это двугранный угол между плоскостью наложения и горизонтальной плоскостью, или вертикальный линейный угол между линией падения ($вг$) и ее проекцией ($ве$) на горизонтальную плоскость (рис. 4.6, I, углы, α и α_1). Угол падения может изменяться от 0 до 90° . При опрокинутом залегании слоев угол падения также составляется линией падения и ее проекцией на горизонтальную плоскость и не может превышать 90° .



При геологической съемке элементы залегания слоя измеряются горным компасом (Рис. 4.7). Горный компас монтируется на прямоугольной пластинке (1), имеющей длину 9-11 см и ширину 7-8 см. Он состоит из *магнитной стрелки* (5) и *большого лимба* (круга), разделенного на 360° (2), необходимых для замеров азимутов, а также из *клинометра* (3) и *полулимба* (8) для замеров угла падения слоя. Градуировка большого лимба произведена *против часовой стрелки*. Он

устанавливается таким образом, чтобы линия, соединяющая север и юг, была параллельна длинной стороне пластинки компаса. В центре лимба в пластинку ввертывается игла, на которую насажена магнитная стрелка. Чтобы стрелка могла свободно вращаться, в нее вмонтирована втулка из твердого минерала (агата или рубина) в медной оправе; в эту втулку упирается игла. Хорошо намагниченная и правильно отрегулированная стрелка быстро успокаивается и принимает горизонтальное неподвижное положение, обращая северным концом, который покрыт черной или синей краской, к северному магнитному полюсу. Под стрелкой на иглу надевается просторное кольцо, укрепленное на конце рычага – арретира (7), которым можно поднимать магнитную стрелку с иглы и закреплять ее в «нерабочем» положении, прижимая к стеклу компаса для того, чтобы конец иглы не изнашивался.

Шкала полулимба градуируется на пластинке компаса и представляет собой половину окружности, на которой нанесены деления от 0° в обе стороны до 90° , т. е. соответственно возможному изменению углов падения слоя. Начало счета делений (0°) расположено против середины короткой стороны пластинки компаса, а концы (90°) – против С и Ю большого лимба. Для отсчетов углов падения служит клинометр (отвес), надетый на иглу под кольцом, поддерживающим стрелку компаса. В расширенной части отвеса прорезано окошечко, в нижнем краю которого выступает короткий заостренный зубец, расположенный по оси отвеса. При вертикальном положении пластинки компаса и совмещении его длинной стороны с горизонтальной линией зубец отвеса укажет 0° ; при вертикальном направлении длинной стороны компаса – 90° . Точность замера угла падения компасом, снабженным обыкновенным клинометром, колеблется от 1 до 3° . Закрепление отвеса производится рычажком (см. Рис. 4.7,4). Коробка лимба покрывается стеклом, укрепленным кольцевой пружиной (6).

Градуировка большого лимба против часовой стрелки и соответственная перестановка стран света сделана для ускорения и упрощения производства замеров азимутов. Любое заданное направление обычным компасом определяется при совмещении севера лимба с северным концом магнитной стрелки. Горный же компас дает возможность непосредственно установить направление линии, с которой при измерениях совмещается длинная сторона компаса. Таким образом, здесь с линией С – Ю компаса совмещается не меридиан, а любая другая линия, азимут которой требуется определить.

Допустим, что направление линии, которую мы должны определить, СЗ 300° . Измеряя азимут обыкновенным компасом, совмещаем С лимба с северным концом стрелки (Рис. 4.8, а). Визируя на заданный предмет, видим, что определяемая линия проходит через деление СЗ 300° . Если же при замерах азимута этой линии совместить с ней длинную сторону компаса (деления нанесены на лимбе по ходу часовой стрелки), то северный конец стрелки покажет отсчет СВ 60° (см. Рис. 4.8, б), что не соответствует действительному азимуту. Истинное направление линии в этом случае надо вычислять. Приложим к линии того же направления длинную сторону горного компаса, лимб которого градуирован против часовой стрелки (см. Рис. 4.8, в). В этом случае северный конец стрелки непосредственно покажет отсчет СЗ 300° , что точно соответствует заданному условию.

Из этого примера следует основное правило пользования горным компасом: при производстве замера азимута направляют компас северной стороной на визируемый предмет, совмещая длинную сторону пластинки компаса (т.е. его линию С – Ю) с направлением измеряемой линии и непосредственно берут на лимбе отсчет по северному концу магнитной стрелки компаса.

Замеры элементов залегания слоя горным компасом

Для замера элементов залегания слоя горным компасом необходимо прежде всего выбрать наиболее ровную площадку, совпадающую со слоистостью. Определить элементы залегания можно двумя способами.

Первый способ применяют обычно при замерах элементов залегания крутопадающего слоя. Вначале выявляют положение линии падения и значение угла падения. Для этого на выбранной расчищенной плоскости слоя устанавливают горный компас вертикально (при вертикальном положении компаса отвес качается свободно), длинной стороной на ребро, отвесом вниз. Магнитная стрелка должна быть при этом закреплена (Рис. 4.9, I). Удерживая компас в таком положении, вращают его по поверхности слоя. Наблюдая при вращении за показанием отвеса, замечают на полулимбе по клинометру наибольший отсчет. Это и будет истинный угол падения слоя α . В направлении длинной стороны компаса прочерчивают или мысленно проводят на плоскости слоя прямую AB , которая покажет направление линии падения.

Для определения азимута падения компас поворачивают, не отрывая от линии AB , до совмещения основания его с плоскостью слоя. Короткая сторона компаса в этот момент покажет направление линии простирания. Затем, не отрывая короткую сторону компаса от плоскости слоя,

приводят его в горизонтальное положение (см. Рис. 4.9, II). Необходимо при замере азимута падения держать компас так, чтобы север лимба (северная сторона компаса) был направлен в сторону падения слоя. Затем отпускают магнитную стрелку и по северному концу ее на лимбе компаса читают значение азимута падения.

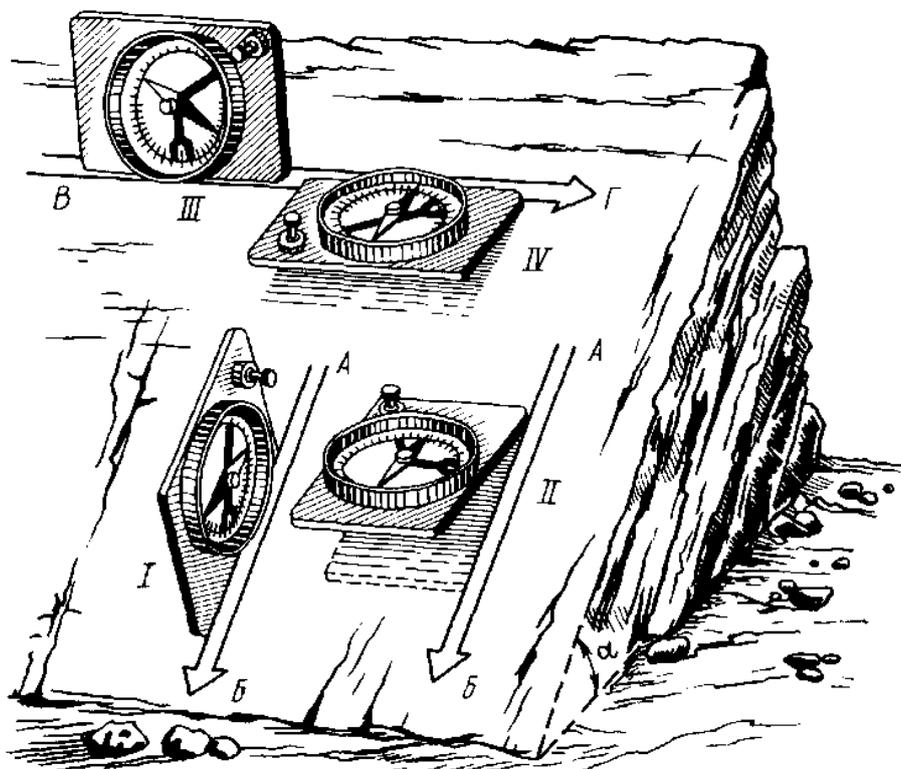


Рис. 4.9 Замеры элементов залегания пород горным компасом
 I – определение угла падения, II — определение азимута падения, III — нахождение пинии простирания, IV – определение азимута простирания

Поскольку азимут простирания будет отличаться от азимута падения на 90° , то его можно не измерять компасом, а вычислять, прибавив к величине азимута падения или отняв от нее 90° .

Например, если азимут падения СВ 30° , то азимут простирания будет ЮВ 120° и СЗ 300° . Из двух отсчетов берется тот, который находится в северных румбах (СЗ 300°), но записываются оба:

СЗ 300
 ЮВ 120

Второй способ замера элементов залегания дает хорошие результаты при пологом залегании слоя. В этом случае сначала выявляют не линию падения, а линию простирания слоя. Горный компас в вертикальном положении длинной стороной ставят на поверхность слоя и, поворачивая, находят такое его положение, при котором отвес показывает ноль на полулимбе (см. Рис. 4.9, III). Необходимо следить за тем, чтобы компас оставался в строго вертикальном положении, а длинная сторона его совпадала бы с плоскостью слоя. При найденном нулевом отсчете клинометра длинная сторона компаса совпадает с линией простирания измеряемой плоскости слоя. В направлении простирания прочерчивают линию вдоль длинной стороны компаса (BG) Для нахождения линии падения компас кладут основанием на поверхность слоя, совмещая его короткую сторону с линией простирания; с длинной стороной компаса в этот момент совпадает линия падения. Замер азимута падения производится вышеописанным способом (см. Рис. 4.9, II). Азимут простирания вычисляется так же, как в случае крутопадающего слоя, но его можно измерить и непосредственно, для чего с линией простирания слоя совмещают длинную сторону компаса; при этом концы стрелок покажут отсчет двух азимутов простирания (см. Рис. 4.9, IV). Для определения угла падения горный компас снова приводят в вертикальное положение и прикладывают длинной стороной к найденной линии падения. Значение угла падения берется по отвесу компаса (см. Рис. 4.9, I).

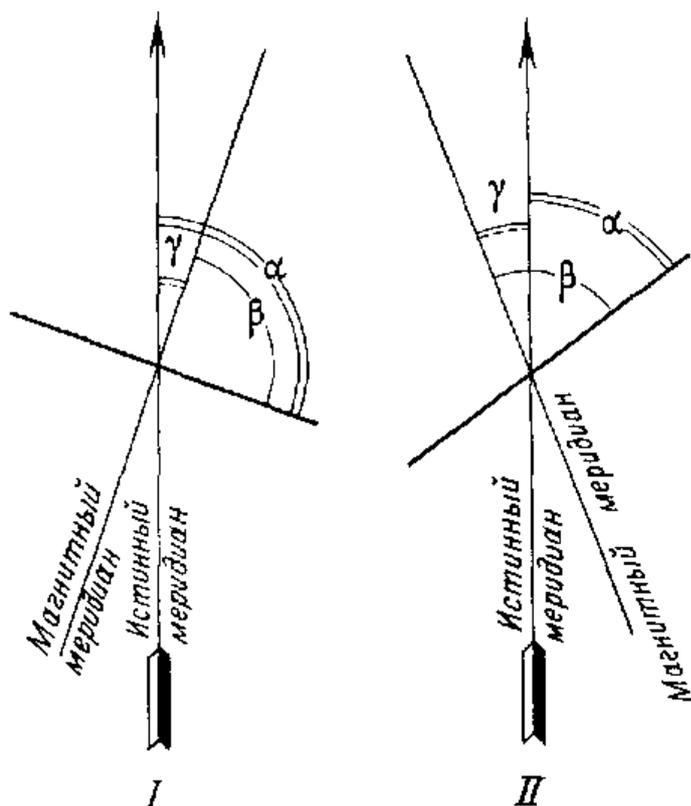


Рис. 4.10 Схема, поясняющая введение поправки на магнитное склонение

При записи азимутов падения и простирания, кроме угла (в градусах), записывается и азимутальная четверть, в которой находится этот угол, в буквенном выражении (СВ, ЮВ, ЮЗ, СЗ). Запись элементов залегания следующая:

Аз. пад. СЗ 320<42; аз. пр. СВ 50.

Обозначение градусов не ставится, чтобы не спутать градус с нулем. Замеры и запись элементов залегания опрокинутых слоев производятся так же, как и нормально залегающих, только в записи добавляют, что залегание опрокинутое.

Точное определение элементов залегания достигается многократными контрольными измерениями. При определении элементов залегания вертикально падающих слоев, даек, жил, плоскостей разрыва, трещин кливажа следует измерять только азимут простирания. С этой целью компас в горизонтальном положении прикладывают длинной стороной к плоскости

слоя, жилы или другого объекта. При этом концы стрелки покажут отсчеты азимута простирания слоя. Азимут падения в таком случае измерить невозможно, так как проекция линии падения на горизонтальную плоскость при вертикальном положении слоя выражается точкой.

Иногда приходится измерять простирание также при неясности направления падения и угла падения. Такие случаи часто встречаются в сложнослоистых и в то же время недостаточно обнаженных районах. Установив наличие вытянутой гривки слоя или линейно вытянутых глыб, проектирующих выход слоя на дневную поверхность, измерение проводят, встав на одном конце линии выхода слоя и визируя на какую-либо удаленную точку на противоположном ее конце. В этом случае компас держат северной стороной по направлению визируемой точки и совместив его длинную сторону с визируемой линией, а отсчет также берут по северному концу магнитной стрелки. Затем определяют азимутальную четверть и направление падения слоя по отношению к странам света и данные записывают следующим образом: простирание СВ 40, падение ЮВ. Другое значение азимута простирания будет отличаться на 180° (т. е. ЮЗ 220).

При геологических наблюдениях в некоторых случаях замеряется азимут восстания слоя. Определение его производится так же, как и замер азимута падения, только отсчет берется по южному концу магнитной стрелки компаса. Иначе значение азимута восстания слоя можно получить, прибавив (или отняв) 180° к отсчету азимута его падения.

Замеренные горным компасом азимуты являются магнитными и часто значительно отличаются от истинных (географических) в силу несовпадения магнитного и географического меридианов. Для получения «истинного азимута» вводится поправка на магнитное склонение, т. е. на угол между направлением магнитного меридиана и географического. Для каждой части земного шара величина магнитного склонения периодически изменяется и поэтому вычисляется, публикуется в специальных таблицах и указывается на детальных картах. Склонение магнитной стрелки бывает восточным и западным, а величина его колеблется от незначительных долей градуса до $10 - 13^\circ$ и более. Поправки вводятся следующим образом: величина восточного склонения прибавляется к

величине произведенного замера, а западного – вычитается из нее. Например, склонение γ – В 7; замер магнитного азимута β - ЮВ 100; истинный азимут, $\alpha = \beta + \gamma = 100 + 7 = \text{ЮВ } 107$ (Рис. 4.10, I). Склонение γ – 3 10; замеренный азимут СВ 80; истинный азимут, $\alpha = \beta - \gamma = 80 - 10 = \text{СВ } 70$ (см. Рис. 4.10, II). Поправку на магнитное склонение можно внести перед работой с горным компасом, повернув лимб нулевым делением (или делением 360°) по отношению к метке «север» (С) на число делений, соответствующих магнитному склонению в данном районе: при восточном склонении – по ходу, при западном – против хода часовой стрелки. После этого показания азимутов, измеренные компасом, будут истинными по отношению к географическому меридиану.

Нанесение элементов залегания слоя на карту

На Рис. 4.11 показано изображение элементов залегания слоя на геологической карте при различных условиях залегания слоев: горизонтальном (а), наклонном нормальном (б), опрокинутом (в) и вертикальном (г). При этом длинная линия знака соответствует истинному простиранию слоя, а короткая – истинному направлению его падения. Элементы залегания слоя можно нанести на карту как при помощи транспортира, отсчитывая азимут относительно истинного меридиана (этот способ очень прост и здесь не рассматривается), так и при помощи горного компаса.

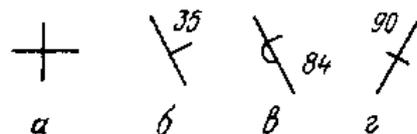
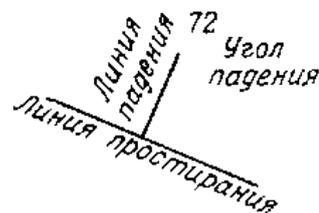
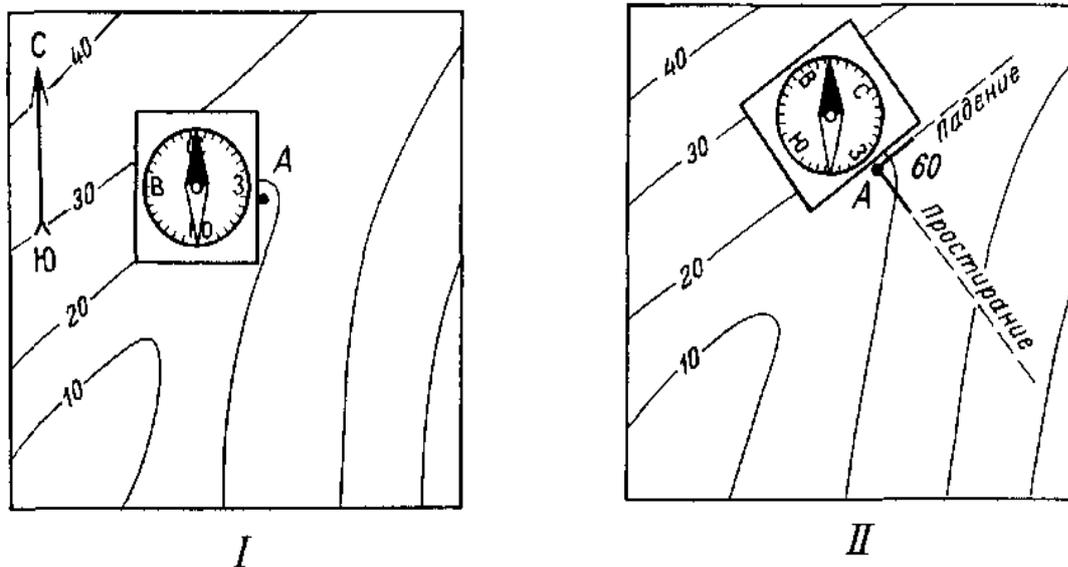


Рис 4.11 Условные знаки для изображения на геологической карте горизонтального (а), нормального (б), опрокинутого (в) и вертикального (г) залегания слоев

Рис 4.12 Нанесение элементов залегания слоев на карту при помощи горного компаса



Для нанесения элементов залегания слоя на геологическую карту при помощи горного компаса необходимо прежде всего ориентировать карту по странам света (Рис. 4.12, I), затем, оставляя карту неподвижной, на нее кладут компас и вращают его длинной стороной около точки выхода слоя (точка А) так, чтобы северный конец стрелки показывал замеренный азимут падения (см. Рис. 4.12, II). При таком положении по длинной стороне компаса пройдет горизонтальная проекция линии падения, а с короткой стороной совпадет линия простирания. Значение угла падения записывается в углу знака элементов залегания слоя (на Рис. 4.12, II аз.пад. СВ $50 < 60$). При нанесении элементов залегания на карту при помощи компаса, а не транспортира, следует иметь в виду, что лимб компаса должен быть повернут на соответствующую величину склонения в градусах, иначе на карту будут наноситься не истинные данные, а без поправок на магнитное склонение

Изображение наклонно залегающих слоев на геологической карте и разрезах

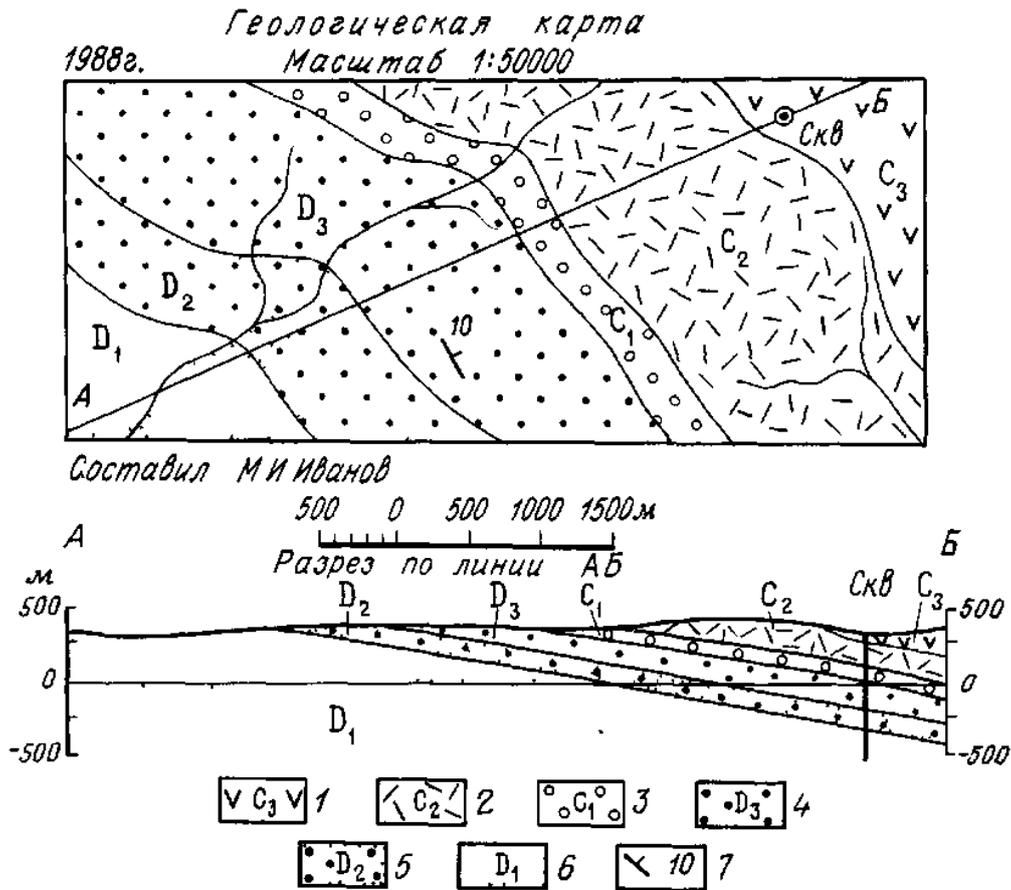


Рис 4.13 Геологическая карта и геологический разрез района, сложенного наклонно залегающими слоям

Карбон: 1 – лавы среднего состава верхнего отдела, 2 – лавы кислого состава среднею отдела, 3 – конгломераты нижнего отдела, девон 4 – галечники верхнего отдела, 6 — песчаники нижнего отдела, 7 – элементы залегания слоев

На геологической карте наклонно залегающие слои изображаются в виде ряда полос различной ширины, представляющих собой выходы слоев на земную поверхность и сменяющих друг друга в возрастной последовательности по падению или восстанию. Ширина этих полос зависит от мощности и угла падения слоев, а также от рельефа местности. При нормальном наклонном залегании слои падают в сторону расположения более молодых отложений, при опрокинутом – наоборот.

На рис. 4.13 приведена геологическая карта масштаба 1:50000 с изображением наклонно залегающих слоев. Все породы на этой карте наклонены на северо-восток, что легко проверить, построив разрез по линии АБ. Слои не могут быть наклонены на юго-запад, так как в этом случае древние отложения налегали бы на молодые, что при нормальном залегании пород исключено.

При построении разреза через участок с моноклинальным залеганием слоев направление линии разреза следует выбирать вкрест простирания слоев, т.е. по линии падения. В этом случае угол наклона слоев на разрезе будет истинным. Построение разреза начинается, как и обычно, с топографического профиля. Если на карте не указаны элементы залегания, то для определения угла наклона слоев необходимо, чтобы линия разреза дважды пересекла подошву или кровлю какого-либо слоя, т.е. проходила через его «окно» или «останец». Соединив точки подошвы или кровли этого слоя, получим на разрезе угол его наклона. Все другие слои следует проводить согласно с падением этого слоя, сохраняя постоянную мощность, если нет данных об изменении последней. При указанных на карте элементах залегания границы наслоения проводят на разрезе из точек выхода слоев на поверхность в соответствии с их истинным углом падения – в том случае, если линия разреза проходит вкрест простирания слоев.

4.4 ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

ТЕМА: ПОСТРОЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ КАРТ И РАЗРЕЗОВ

Задание

Составьте геологическую карту с горизонтально залегающими слоями и разрезами.

Варианты разрезов скважин

Вариант 1. Карта 1. Линия А-Б. Скважина 1, Абсолютная отметка устья 250 м:

0-12 – элювиальные суглинки, коричневые – верхний отдел четвертичной системы;

12-48 – песчаник серый, полимиктовый верхний отдел пермской системы;

48-80 – мергель известковистый, трещиноватый нижний отдел пермской системы; 80-102 – известняк светло-серый, оолитовый – средний отдел каменноугольной системы.

Вариант 2. Карта 1. Линия В-Г. Скважина 2, Абсолютная отметка устья 250 м:

0-15 – глина коричневая, песчаная – современный отдел четвертичной системы;

15-28 – глина белая, известковистая – верхний отдел неогеновой системы;

28-56 – гипс белый, трещиноватый – нижний отдел пермской системы;

56-105 – известняк серый, кавернозный – верхний отдел каменноугольной системы.

Вариант 3. Карта 2. Линия А-Б. Скважина 3, Абсолютная отметка устья 805 м:

0-20 – галечник – отложения неогеновой системы;

20-48 – песчаник бурый с прослоями конгломерата – верхний отдел меловой системы;

48-120 – мергель серый, пелитоморфный, плитчатый – нижний отдел меловой системы; 120-285 – известняк светло-серый, тонкозернистый – верхний отдел пермской системы;

285-700 – доломит серый, массивный – средний отдел каменноугольной системы.

Вариант 4. Карта 2. Линия В-Г. Скважина 3, Абсолютная отметка устья 805 м: 0-35 – глина коричневая, карбонатная, песчаная – верхний отдел неогеновой системы;

35-74 – мергель темно-серый, трещиноватый – нижний отдел неогеновой системы;

74-140 – известняк светло-серый с прослоями мергелей – верхний отдел меловой системы;

140-280 – доломит розовато-серый, мраморовидный – нижний отдел меловой системы;

280-420 – известняк темный, массивный – верхний отдел юрской системы;

420-685 – кварциты серые, темно-серые, слюдистые – нижний отдел юрской системы.

Вариант 5. Карта 3. Линия А-Б. Скважина 4, Абсолютная отметка устья 345 м:

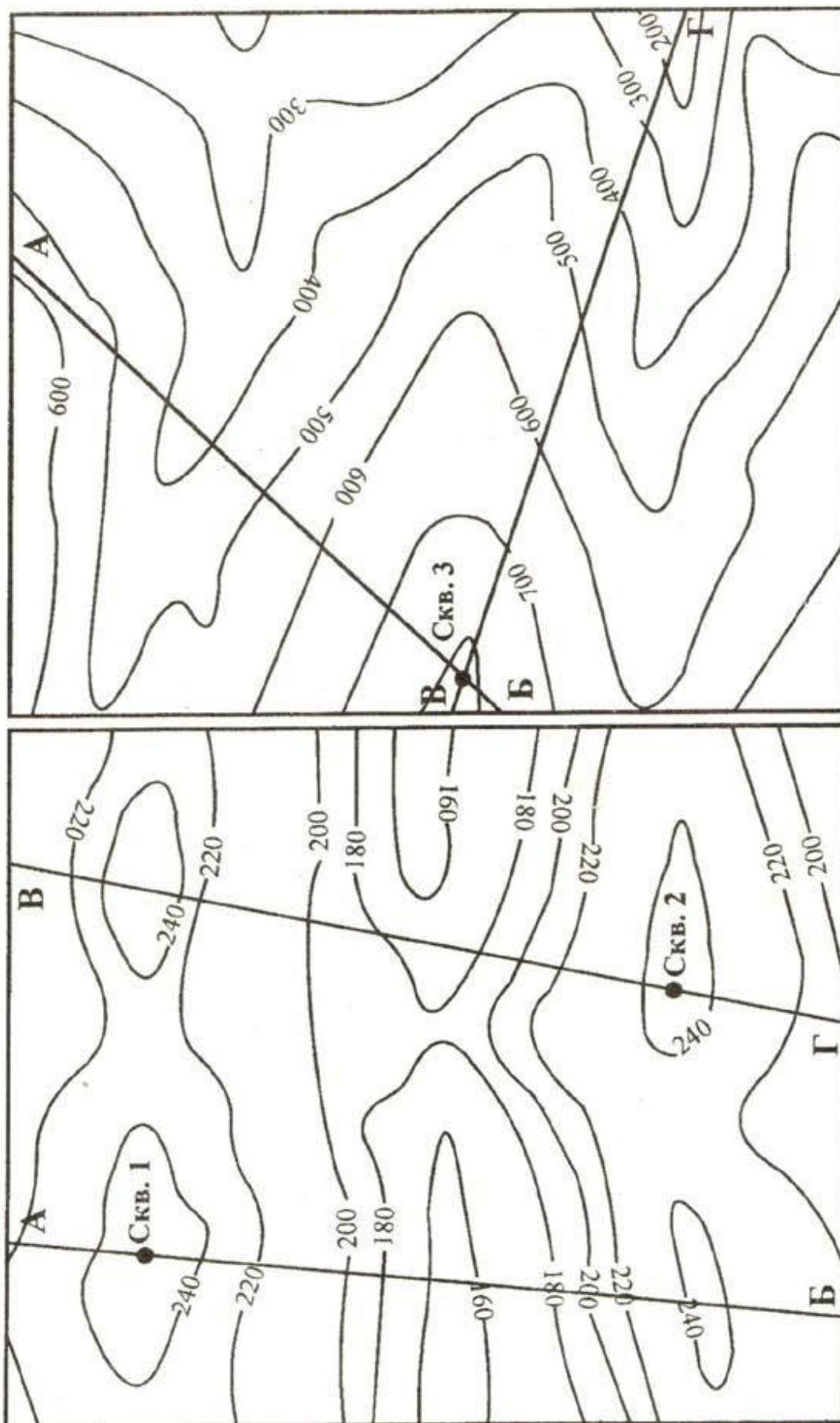
0-10 – галечник – современный отдел четвертичной системы;

10-18 – мергель коричневатый-серый, трещиноватый – верхний отдел пермской системы;

18-40 – известняк светло-серый – нижний отдел пермской системы;

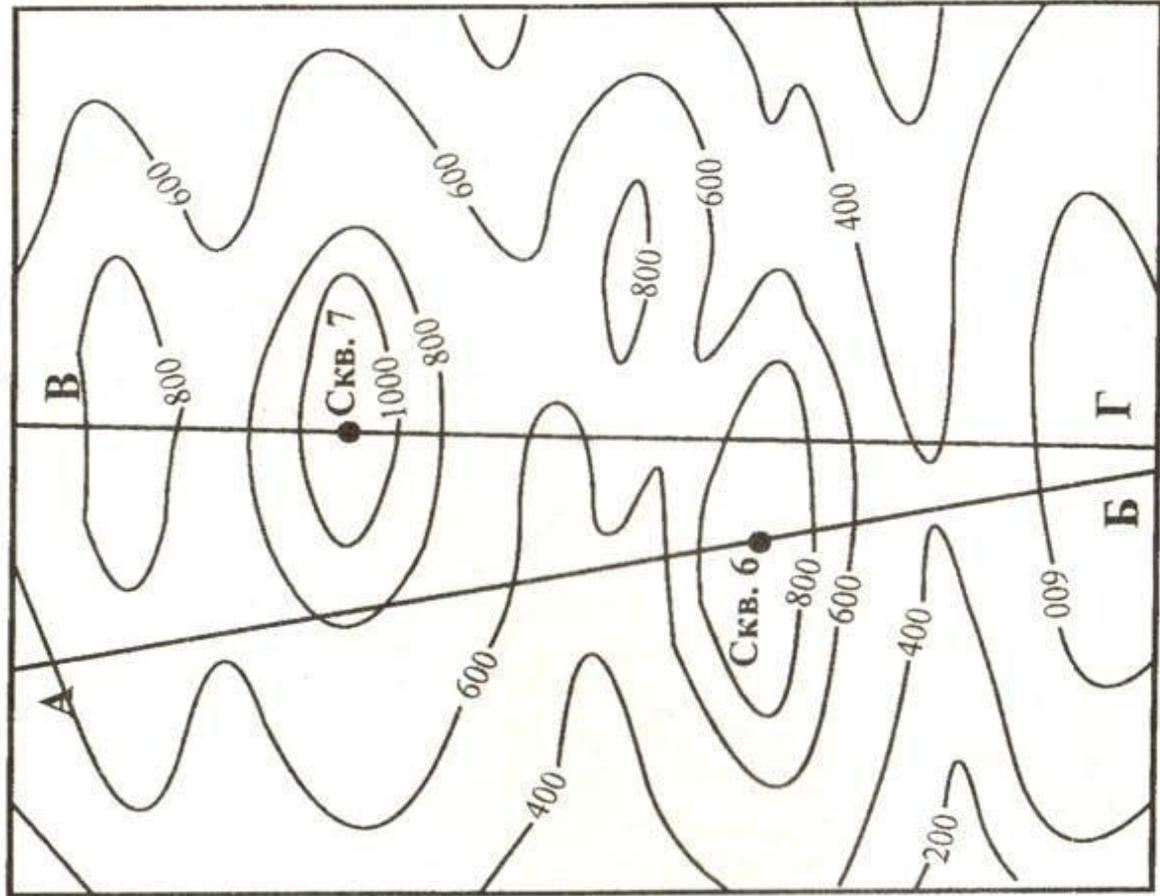
40-95 – доломит оолитовый, массивный – средний отдел каменноугольной системы.

ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ КАРТЫ

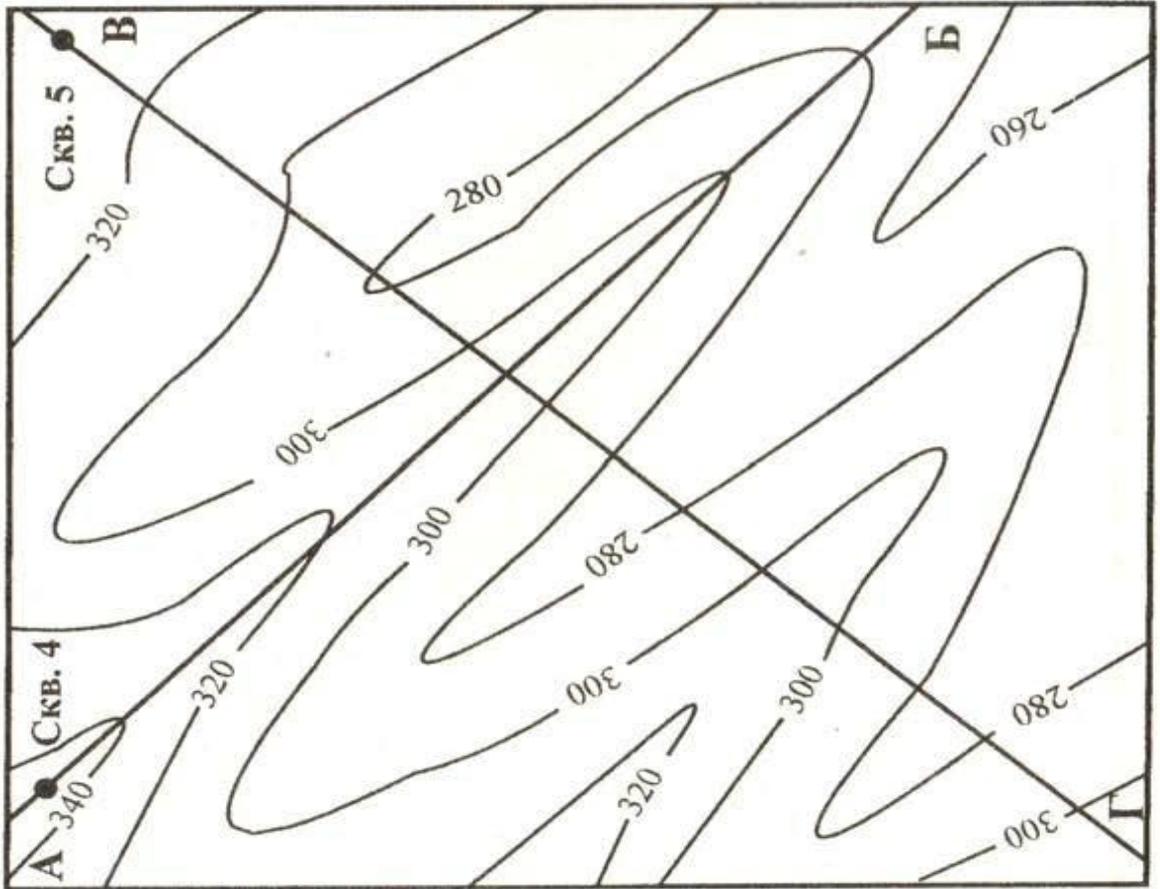


Масштаб 1:100000
Карта 2

Масштаб 1:100000
Карта 1



Масштаб 1:100000
Карта 4



Масштаб 1:100000
Карта 3

Пример построения геологической карты с горизонтальным залеганием пород (Рис. 4.5).

В распоряжении геолога для изучения участка имеется топографическая карта масштаба 1:25000 с сечением рельефа горизонталями через 10 м. В наиболее высокой точке участка, для которого составляется карта, пробурена скважина, вскрывшая следующий разрез горных пород (см. рис. 4.4).

Слой 1 Четвертичные породы – суглинки, супесь Интервал керна от 0 до 2 м;

Слой 2 Верхний неоген – рыхлые галечники с прослоями крупнозернистых песков Интервал керна от 2 до 37 м;

Слой 3 Нижний неоген – слоистые светлые кварцевые пески Интервал керна от 37 до 52 м;

Слой 4 Верхний палеоген – бурые тонкослоистые глины Интервал керна от 52 до 67 м;

Слой 5 Средний палеоген – серые слоистые песчанистые мергели, которые подстилаются крупнозернистыми песками с обломками темно-серых известняков, пески лежат на размытой поверхности верхнемеловых известняков, интервал керна от 67 до 87 м;

Слой 6 Верхний мел – темно серые пористые грубослоистые известняки Интервал керна от 87 до 115 м.

Находим абсолютные отметки каждого из стратиграфических подразделений. Для этого из абсолютной высоты устья скважины, равной в нашем примере 132 м, вычтем значение глубины до подошвы стратиграфических подразделений, установленных по керну скважины. Абсолютная отметка подошвы верхнего неогена составит $132 - 37 = 95$ м. Так же определяем абсолютные отметки подошв нижнего неогена (80 м), верхнего палеогена (65 м) и Среднего палеогена (45 м). Кроме перечисленных пород на участке развиты аллювиальные отложения мощностью до 10 м, указанные на геологической карте.

Вычислив абсолютные отметки подошвы каждого из стратиграфических подразделений, нанесем границы на топографическую карту, воспользовавшись для определения положения границ высотными отметками проведенных на карте горизонталей. Границы слоев пород будут совпадать с соответствующими по высоте горизонталями. Промежуточные горизонталю следует наносить путем интерполяции. Границы между стратиграфическими подразделениями на карте согласные; проводим их сплошными тонкими черными линиями. Исключение составляет граница несогласного налегания пород среднего палеогена на верхнемеловые известняки. Нанесем на карту штриховые условные обозначения, расставим индексы, и геологическая карта готова.

Прежде чем строить разрез, выберем его направление на геологической карте. При горизонтальном залегании пород разрез обычно проводят через самую высокую и низкую точки рельефа, так как при такой ориентировке на нем будут изображены все подразделения стратиграфического разреза, обнаженные на поверхности. Далее выбирают вертикальный масштаб. При этом придерживаются уже изложенного правила: самый маломощный слой, изображенный на разрезе, должен иметь толщину не менее 1 мм в выбранном масштабе. В рассматриваемом примере (см. рис. 4.5) вертикальный масштаб 1:10000, т. е. в 1 см - 100 м.

Построение разреза начинают с вычерчивания профиля рельефа. Для этого на листе бумаги проводят несколько горизонтальных параллельных линий, расстояние между которыми должно быть равно сечению рельефа горизонталями, взятому в масштабе карты. В нашем примере горизонталю секут рельеф через 10 м, что в масштабе 1:10000 составит 1 мм. Линейки ограничиваются вертикальными линиями, располагающимися на расстоянии, соответствующем длине разреза. У вертикальных линеек с обеих сторон разреза цифрами указываются высоты, соответствующие высотам горизонталей на топографической карте, пересекаемых линией разреза. Далее измеряют на карте расстояния по линии разреза до пересечения с горизонталями и переносят эти расстояния на линейки, имеющие те же высотные отметки. Полученные точки соединяют плавной кривой, которая и будет представлять собой профиль рельефа.

Вычертив кривую рельефа поверхности Земли по линии разреза, переносят на нее все точки пересечения линии разреза с геологическими границами, пользуясь для этой цели либо циркулем-измерителем, либо отдельной узкой полоской бумаги (лучше миллиметровой). Найдя точки выхода геологических границ на поверхности рельефа, проводим горизонтальные линии между стратиграфическими комплексами, помня при этом, что все геологические границы на разрезах проводятся одинаковыми тонкими сплошными линиями. На концах разреза ставятся буквы А и Б, а на сам разрез наносятся индексы и условная штриховка для пород.

Контрольные вопросы по разделу

1. Типы геологических карт?
2. Перечислите масштабы геологических карт?
3. В основе составления геологических карт лежат...?
4. Самое крупное подразделение в геохронологической таблице?
5. Назовите эры и периоды фанерозоя?
6. Цветовые обозначения магматических пород
7. Слоем называется...?
8. Что такое мощность пласта?
9. Виды мощностей?
10. Геологические разрезы представляют собой...?
11. Типы тектонических нарушений?
12. Элементы залегания слоя
13. Перечислите основные функции горного компаса?
14. Складками называются...?
15. Элементы складок?
16. Типы складок?
17. Что такое сбросы и взбросы?

5. ГЕОТЕКТОНИКА

Геотектоника определяется как наука, или раздел геологии, которая изучает строение, тектонические движения, различные нарушения и историю развития земной коры, верхней мантии и Земли в целом. Поскольку именно тектонические движения определяют общие закономерности строения и развития земной коры и формирование основных ее структур, а также условия для образования многих полезных ископаемых, наука может рассматриваться как своеобразная теоретическая основа геологии в целом. Термин появился в середине XIX ст., однако наиболее активное и продуктивное ее развитие началось с середины XX ст. Это обязательный учебный курс для геологических специальностей вузов, который хорошо обеспечен учебной и справочной литературой, среди главных работ – учебники и учебные пособия М.М. Тетяева (1935, 1941), В.В. Белоусова (1948, 1954, 1976), В.Е. Хайна (1964, 1973, 1985, 1995), Ю.А. Косыгина (1969, 1983), И.И. Потапова (1964), О.А. Вотеха (1976, 1985), В.П. Гаврилова, А.Е. Михайлова и др, а также ряд специальных монографий, словарей и справочников, трудов различных конференций.

В составе рассматриваемой науки можно выделить несколько самостоятельных разделов, в числе которых общая (теоретическая, динамическая или генетическая), региональная и историческая геотектоника. Из последней в качестве самостоятельного направления исследований выделяется неотектоника, изучающая новейшие и современные тектонические движения и образуемые ими структуры. Морфологической геотектоникой называют иногда структурную геологию, которая частично уже рассматривалась.

В динамической геотектонике выделяется тектонофизика (изучает деформации путем восстановления полей тектонических напряжений), экспериментальная тектоника и геомеханика, занимающаяся математическим моделированием тектонических движений. В последнее время на стыке геотектоники и геофизики оформилась геодинамика, а еще раньше развивалась сейсмостектоника, объясняющая условия возникновения землетрясений.

Геотектоника характеризуется большим разнообразием методов исследований, среди которых различают структурные (анализ структурных форм земной коры), метод сравнительной тектоники (сопоставление однотипных структур в различных регионах), геоморфологические и геодезические методы, позволяющие изучать новейшие и современные тектонические движения. Особое место в геотектонике занимают методы фаций и мощностей, а также формационный анализ, позволяющие расшифровывать пространственно-временной характер проявления тектогенеза, тектонические движения прошлого. Методы анализа перерывов и несогласий, региональных смен условий осадконакопления (формационные несогласия) и типа магматизма позволяют выявлять какие-то кратковременные историко-тектонические события, которые происходят как на отдельных площадях, так и в глобальном масштабе. Необходимо подчеркнуть, что все перечисленные методы являются общими и для ряда других геологических направлений, в первую очередь, исторической, структурной и региональной геологии.

Обычно предметом учебных курсов геотектоники является рассмотрение материковых тектонических структур (платформ, складчатых областей и др.), океанов и их составных частей, а также процессов развития литосферных плит. Объектом специального изучения становятся также крупнейшие разрывные и другие структуры (глубинные разломы, материковые океанические рифты, островные дуги, разнородные кольцевые структуры). Особо пристальное внимание геотектоника уделяет расшифровке структуры, условий и времени формирования складчатых сооружений. Большое место в данном научном направлении занимает составление тектонических карт, разработка принципов тектонического районирования, выявление общих закономерностей эволюции и развития земной коры.

5.1 Литосферные плиты и характер их взаимодействия

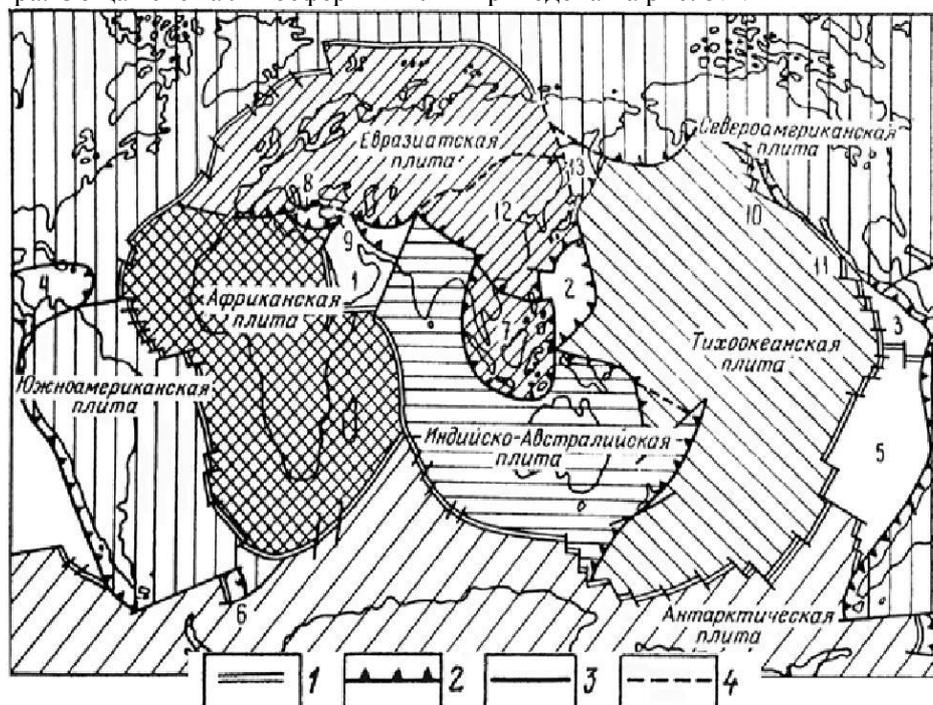
Понятия «земная кора» и «литосфера» не являются синонимами. Литосфера включает, кроме всей земной коры, еще и часть верхней мантии, располагающейся на астеносфере – относительно пластичном слое, возможно, частично расплавленном. Это дает возможность отдельным участкам литосферы перемещаться по данному податливому, пластичному слою. По характеру такого преимущественно горизонтального перемещения литосферу делят на ряд самостоятельных литосферных плит. Они фигурируют во всех современных учебных атласах. Обычно выделяются Тихоокеанская, Южно-Американская, Северо-Американская, Африканская, Евразийская, Индо-Австралийская и Антарктическая литосферные плиты. Кроме того, зачастую выделяется большое

количество подобных микроплит, примером которых могут быть Аравийская, Карибская, Наска, Индокитайская, Эгейская, Охотская и др. Все эти структуры не следует путать с плитами платформ, которые представляют собой материковые площади с мощным осадочным чехлом (Русская платформа в пределах Восточно-Европейской платформы, Западно-Сибирская платформа и др.).

Представления о литосферных плитах являются непременным составляющим элементом новой глобальной тектоники (плейттектоники). Наиболее определенно положение о литосферных плитах сформулировал Дж. Т. Уилсон (1965); ранее для них предлагались другие названия – жесткие блоки, блоки Земли, пластины и др. Границы прежних литосферных плит в современной структуре континентов восстанавливаются по присутствию офиолитов, складчатых поясов и древних сдвигов, контролируемых иногда вулканоплутоническими поясами. Принято выделять три основных типа их границ: 1) конвергентная, предполагающая схождение литосферных плит; 2) дивергентная – перемещение происходило в разные стороны от общего места происхождения; 3) трансформная, или консервативная, которая не знаменует каких-либо принципиальных изменений и не всегда понимается однозначно.

Современные литосферные плиты медленно движутся друг относительно друга со скоростью 1–6 см в год. Этот факт установлен как по геологическим данным, так и по результатам снимков с искусственных спутников. Окраины таких плит характеризуются наиболее активными геологическими процессами – повышенной сейсмичность, вулканизм и др. По характеру взаимодействия можно различить зоны расхождения или раздвижения литосферных плит; процесс этот или тип взаимных перемещений получил название спрединга, или наращивания коры. Такое явление наблюдается в пределах Срединно-Атлантического хребта, от которого в разные стороны расходятся Северо- и Южно-Американская, а также Евразийская и Африканская плиты.

Вдоль западной окраины Тихого океана предполагается погружение Тихоокеанской плиты под Евразийскую и Индо-Австралийскую. Это происходит в зоне островных дуг и глубоководных желобов; они называются зонами субдукции, или поглощения коры. Наконец, еще один тип схождения фиксируется в зоне соприкосновения или схождения Евразийской плиты с Африканской и Индо-Австралийской, где уже в наше время формируются горно-складчатые сооружения Средиземноморского пояса. К этим зонам коллизии, или столкновения приурочены высочайшие горы и вершины мира. Общая схема литосферных плит приведена на рис. 5.1.



1–3 границы плит: 1 – оси спрединга (наращивания коры); 2 – зоны субдукции (поглощения коры); 3 – зоны скольжения; 4 – условные границы; Малые плиты и микроплиты: 1 – Аравийская, 2 – Филиппинская, 3 – Кококовская, 4 – Карибская, 5 – Наска, 6 – Южно-Сандичева, 7 – Индокитайская, 8 – Эгейская, 9 – Анатолийская, 10 – Хуандефука, 11 – Ривера, 12 – Китайская, 13 – Охотская

Рисунок 5.1 Литосферные плиты Земли (Хаин, Михайлов, 1985)

Необходимо подчеркнуть, что представления о литосферных плитах доказаны и более или менее однозначно понимаются лишь для мезо-кайнозойской геологической истории. В более давние периоды времени схема деления литосферы на плиты была иной, а для раннего докембрия само существование их нельзя признать строго доказанным. Тем не менее, для современной геотектоники парадигма таких плит остается ведущей. Она хорошо и наиболее полно объясняет условия формирования горно-складчатых сооружений и закономерности развития этого процесса в пространстве и во времени.

5.2 Основные структурные элементы материковой земной коры

Тектоническая структура – это обособленный участок земной коры, литосферы и тектоносферы, отличающийся от сопредельных участков характерным сочетанием состава пород, условий их залегания и образования, т.е. тектоническим режимом. Крупнейшими структурами литосферы и тектоносферы являются литосферные плиты, в пределах которых выделяются океаны и континенты.

Основными структурно-морфологическими элементами земной коры являются материки и океаны. Это не только выделяющиеся в рельефе главные участки земной поверхности, но и зоны с разным ее строением, испытавшие различную историю геологического развития. В пределах материков мы можем выделить платформы и складчатые сооружения; последние группируются в складчатые пояса, области и системы. Они также разделяются на складчатые сооружения разного возраста – альпийские, мезозойские, герцинские, каледонские и др. Подробнее об этом речь будет идти в одном из последующих разделов – региональной геологии. Здесь будет сформулирована лишь общая их структура, схема строения.

В пределах материковых платформ обособляются щиты и плиты. Щитами называют участки выхода на поверхность кристаллического их основания. Классическими примерами такого рода структур являются Канадский, Балтийский и Украинский щиты. И соответственно, плитами являются те участки платформ, которые перекрыты достаточно мощным осадочным чехлом. Их примером может быть Русская, а также Воыно-Подольская плиты на Восточно-Европейской платформе. Следовательно, в разрезе платформ четко выделяется кристаллический фундамент и осадочный чехол. По времени своего формирования платформы обычно являются древними структурами, оформившимися еще в докембрии. Однако выделяются и молодые платформы, начавшие формироваться в палеозое и мезозое (Западно-Сибирская, Скифская, Туранская и др.).

Схема строения и деления складчатых сооружений более сложная. Они группируются в пояса, области, системы или имеют более дробные единицы. В зависимости от своего размещения пояса делятся на окраинно-континентальные (Тихоокеанский и Атлантический) и межконтинентальные (Средиземноморский, Урало-Монгольский). Складчатые области, составляющие тот или иной пояс, формируются обычно в течение двух и более геотектонических циклов и содержат в своем составе системы, образованные в один цикл. Такие области могут включать срединные массивы, которые представляют собой обломки тех платформ, за счет разрушения которых они сформировались, а также выступающие на поверхность геоантиклинальные системы (крупные, унаследованные от одного из предыдущих этапов развития складчатые сооружения). В отличие от срединных массивов такие системы также имеют линейную складчатость. Складчатые области или системы удается иногда разделять на эвгеосинклинальные (они сформировались на коре океанического типа и характеризуются активным вулканизмом в течение времени прогибания) и миогеосинклинальные зоны, почти лишенные проявления магматизма. Последние рассматриваются обычно как окраина прилегающей платформы, испытывавшая прогибания в геосинклинальную стадию развития.

Платформы и складчатые сооружения могут быть разделены своеобразными пограничными структурами, получившими название краевых прогибов. Они обычно формируются с началом воздыманий в пределах соседних складчатых сооружений. Примерами краевых прогибов являются Предуральский, Предкарпатский, Предгималайский. Применительно к тем горно-складчатым сооружениям, что формируются в настоящее время, иногда применяется название «предгорный прогиб». Такие пограничные структуры часто являются местом накопления своеобразных формаций (угленосных, соленосных, молассовых) и разнообразных осадочных полезных ископаемых – каменной и калийной солей, нефти и газа, угля.

Платформы и складчатые сооружения могут быть нарушены процессами тектономагматической активизации, в результате которых формируются своеобразные структуры. Среди главных из таких процессов – материковый рифтогенез, эпиплатформенный орогенез,

активный наземный магматизм, образующий трапповые плато на платформах, вулканические пояса, внегео-синклинальные гранитоиды. Наиболее выразительные структуры и системы этой группы также будут рассматриваться в разделе региональной геологии.

5.3 Океаны, их строение и происхождение

Океан (греч. – «беспредельное море») – крупнейший структурногеологический и геоморфологический элемент земной поверхности, который противопоставляется материку. В географии это элемент гидросферы к самому глубокому участку Земли. В геологии акцент делается на том, что это структура с океаническим типом строения земной коры, бассейн своеобразной седиментации и специфических процессов. Это также историко-геологическое понятие, фиксирующее стадию и состояние развития литосферы соответствующих площадей. Обычно выделяют четыре современных океана: Тихий, Атлантический, Северный Ледовитый и Индийский. Наряду с этим историческая геология и палеогеография изучают океаны про-шлого. Океаны вместе с материками составляют важнейшие глобальные структурные элементы земной коры.

С пределов океанов обособляются срединно-океанические хребты, глубоководные желоба и прилегающие к ним островные дуги, а также ложе океанов. Последнее представляет собой сравнительно пологую его часть, погруженную в среднем на глубину 4500 м. Материки и океаны, зачастую постепенно переходят друг в друга; здесь располагаются окраинные моря к зонам шельфа (подводная окраина материка, располагающаяся обычно на глубине до 200 м). Ширина шельфа может быть различной. Так, у северной окраины Евразии она достигает 1500 км. Эти зоны в последнее время привлекают особое внимание, так как в их пределах выявляют месторождения нефти и газа, а также россыпи. Более подробно эти вопросы будут рассматриваться в разделе «региональная геология».

По особенностям глубинного строения выделяют земную кору материкового и океанического типа. Мощность континентальной земной коры изменяется от 35–45 км в пределах платформ и до 55–75 км в молодых горно-складчатых сооружениях. Континентальная кора продолжается и в подводных окраинах материков, где ее мощность уменьшается до 20–25 км, а на материковом склоне, на глубине 2–2,5 км, она выклинивается. Континентальная земная кора состоит из трех слоев: сверху осадочного (мощность его может достигать 20 км и более), затем гранитного или гранитогнейсового, средняя мощность которого 15–20 км, а затем базальтового. Следует подчеркнуть, что гранитный и базальтовые слои выделяются в основном по геофизическим данным – скорости распространения сейсмических волн. В действительности их состав намного сложнее, чем просто граниты или базальты.

Океаническая земная кора имеет мощность 5–12 км, чаще всего 6–7 км. Она состоит из двух основных слоев: сверху осадочного и внизу базальтового. Кроме материкового и океанического, выделяют также переходные их типы, говоря о субконтинентальной (почти континентальной) и субокеанической коре. Такое строение она имеет вдоль окраин материков. Например, отдельные участки Охотского, Японского, Средиземного и Черного морей имеют субокеаническое строение земной коры. Здесь отсутствует гранитный слой, а мощность осадочного составляет 4–10 км и больше.

Происхождение океанов предполагается за счет дробления и разрушения ранее существовавшей на этом месте коры материкового типа. Образование их может начинаться континентальным рифтогенезом, перерастающим затем в спрединг. Такая схема развития включает стадии начального разрушения (деструкции) литосферы, континентальных и морских (океанических) рифтов, спрединга, частичной и полной субдукции (аккреции). Этот процесс получил название океаногенез (В.П. Гаврилов, 1986) и противопоставляется ранее предполагавшейся океанизации (базификации) по В.В. Белоусову или талассогенезу по Л. Коберу (1921). В целом же схемы и условия образования океанов более сложны, и исключать полностью какие-то процессы невозможно.

5.5 ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Задание

На миллиметровом листе формата А1 необходимо построить тектоническую схему земной коры к началу антропогена.

Необходимо уметь показать границы каждого структурного элемента на тектонических или геологических картах разного масштаба.

Советы для решения задачи.

1) Пользуясь геологическими, тектоническими и физическими картами Мира и Евразии, нанести на контурную карту перечисленные ниже тектонические структуры земной коры согласно указанных границ.

2) Для выделения структур с разновозрастным фундаментом применить следующие цветовые обозначения:

розовый – древние платформы (кратоны);

серый – байкалиды

фиолетовый – каледониды;

коричневый – герциниды;

зеленый – мезозоиды;

желтый – альпиды;

красный – щиты

3) Порядковым номером обозначить платформы и складчатые области в пределах складчатых поясов. С обратной стороны карты расшифровать применяемые цифровые индексы.

4) в пределах древних платформ оконтурить выходы на поверхность кристаллического фундамента – щиты. Выделенные участки закрасить красным цветом.

5.6 Границы платформ

Восточно-Европейская платформа занимает большую часть Европы и простирается от Скандинавских гор до Урала и от Баренцева моря до Чёрного и Каспийского морей. На севере граница платформы проходит от залива Варангор-фьорд по Баренцеву морю. На северо-востоке она ограничена полуостровом Канин и Тиманским кряжем. Восточная граница проходит вдоль западного склона Урала; юго-восточная – по левобережью р. Эмбы до её устья. Южная граница платформы пересекает северо-восточную часть Каспийского моря в направлении г. Астрахани, далее почти прямолинейно прослеживается до верховьев р. Сал, огибает Донбасс и следует через Азовское море и Перекопский перешеек до дельты Дуная. На западе платформа ограничена Предкарпатским краевым прогибом, Польско-Датским глубинным разломом, на северозападе – Скандинавскими горами.

На территории платформы выделяются два щита – Балтийский и Украинский. Балтийский (щит Фенноскандии) щит занимает юго-восточную половину Скандинавского полуострова, Кольский полуостров, Карелию, полуостров Ютландию и остров Зеландия. Украинский щит располагается на юге платформы и простирается с северо-запада на юго-восток от реки Горынь до побережья Азовского моря.

Сибирская платформа занимает междуречье Енисея и Лены. На севере она ограничена горами Бырранга, на востоке – Предверхоанским краевым прогибом, и хребтом Джугджур. На юге границу следует проводить по подножию Станового хребта, затем, огибая Патомское нагорье, вдоль Байкальского и Приморского хребтов до оз. Байкал. На юго-западе платформа ограничена Восточным Саяном, на западе – Енисейским Кряжем и долиной р. Енисей. Юго-восточную часть платформы занимает Алданский щит, совпадающий с современным Алданским нагорьем и Становым хребтом.

На севере Среднесибирского плоскогорья (Якутия) располагается куполообразный выступ древнего фундамента – Анабарский щит, в рельефе которому соответствует Анабарское плато с высотами ~ 900 м.

Северо-Американская платформа (Лаврентьевская) – занимает большую часть Североамериканского континента. На севере она включает острова Арктического архипелага – Банкс, Викторию, Принца Уэльского, Сомерсет, Баффинову Землю, море Баффина и большую часть Гренландии, за исключением её восточного и северного побережья (Земли Пири, Короля Фредерика VIII, Христиана X, Берег Короля Фредерика VI). На востоке она ограничена Ат- 13 лантическим

океаном, островом Ньюфаундленд, на юго-востоке – Аппалачами. На западе граница проходит по подножию Скалистых гор и гор Маккензи до моря Бофорта.

Ядром Северной Америки является Канадский щит, который охватывает арктические острова, Гренландию и простирается на юг до озера Верхнее.

На крайнем северо-западе платформы располагается Беренгский щит, на территории которого располагаются горные сооружения хребта Брукс и полуостров Сьюард.

Южно-Американская платформа на севере, северо-востоке и востоке омывается водами Атлантического океана, на западе окаймлена цепью Анд, на юге – Патагонией.

В пределах платформы имеются три крупных выступа кристаллического фундамента – Гвианский, Амазонский и Бразильский щиты.

Территория Гвианского щита практически совпадает с Гвианским плоскогорьем.

Амазонский щит занимает центральную возвышенную часть платформы южнее Амазонской низменности. На востоке он ограничивается бассейном реки Арагуая.

Бразильский щит вытянут вдоль береговой зоны от залива Ла-Плата до порта Камосин. Западную границу следует проводить по линии Монтевидео– Куритиба–среднее течение реки Сан-Франсиску–Камосин.

Африкано-Аравийская платформа занимает практически весь Африканский континент, Аравийский полуостров, остров Мадагаскар. На севере она ограничена Атласскими горами и Средиземным морем, на северо-востоке – горными сооружениями Тавра и Загроса и Персидским заливом. Горное побережье Оманского залива по линии Дубай–остров Масира является составной частью Средиземноморского пояса. Западная и восточная границы платформы определяются границами современного Африканского континента, южная – Капскими горами.

В составе платформы имеются щиты – Ахагарский, Нубийско-Аравийский, Регибатский, Эбюрнейский, Центральнo-Африканский, ЮжноАфриканский, Касаи, Мадагаскарский.

На территории Ахагарского щита располагается нагорье Ахагар южного Алжира.

Нубийско-Аравийский щит, рассеченный Красноморским рифтом на две части, занимает территории современных Нубийской и Восточной (Сахараэш-Шаркия) пустынь и Эфиопского нагорья на востоке Африки и западную часть Аравийского полуострова.

На территории Регибатского щита располагаются юго-западные части государств Мавритании и Мали, Эбюрнейского – государства Сьерра-Лионе, Либерия, южная часть Гвинеи, Кот-Д, Ивуар, Центральнo-Африканского – Конго, Габон, юго-восточная часть Камеруна, Центральнo-Африканская республика, южная часть Судана, Уганда, Кения, Танзания (см. Атлас мира, политическая карта Африки).

Южно-Африканский щит объединяет Тоггарский, Бангвелулу, Зимбабве, Мозамбикский и Трансваальский докембрийские выступы фундамента платформы, образующие высокогорную западную часть Южной Африки.

На территории щита Касаи располагается пустыня Намиб.

Мадагаскарский щит, занимающий 2/3 площади острова, в современном рельефе выражен горными сооружениями Центрального нагорья.

Индостанская платформа располагается на Индостанском полуострове. Западная граница проходит по долине р. Инд, северная – по подножию Гималаев, восточная – по р. Брахмапутра. В состав платформы входит остров Шри-Ланка (Цейлон).

Большую часть платформы занимают щиты Деканский и ВосточноГатский. Деканский щит занимает южную часть полуострова, на севере ограничиваясь долиной реки Годавари, на территории Восточно-Гатского щита располагаются горы – Восточные Гаты.

Таримская платформа соответствует границам пустыни Такла-Макан. С севера она ограничена Тянь-Шанем, с юга и юго-востока – хребтами Кунь-Лунь и Алтынтаг.

Тибетская платформа располагается южнее Кунь-Луна в пределах одноименной горной системы – Тибета.

Китайско-Корейская (Сино-Корейская, Северо-Китайская, Хуанхэ) платформа занимает бассейн реки Хуанхэ с многочисленными притоками, Корейский полуостров, исключая южную часть и Жёлтое море. На её территории располагаются северный Китай, юго-восточная часть Монголии и большая часть Кореи. От Южно-Китайской платформы отделяется хребтом Циньлин.

Синийский (Сино-Корейский) щит располагается в северо-восточной части платформы и охватывает Корею, Ляодунский и Шаньдунский полуострова, акваторию Жёлтого моря.

Южно-Китайская платформа (Янцзы) расположена на юго-востоке Китая, занимая пространство среднего и нижнего течения реки Янцзы южнее орогена Циньлин и восточнее горных сооружений Тибета и Кунь-Луны.

Индосинийская платформа – самая южная платформа восточной Азии. Располагается на Индокитайском полуострове и охватывает южную часть Таиланда, Камбоджу и часть Вьетнама. Бирмы и Малайского полуострова. Юго-восточная и восточная части платформы прослеживаются под дном шельфовой части Южно-Китайского моря.

Австралийская платформа занимает 2/3 площади материка. На севере, западе и юге она обрезана неровной береговой линией Индийского океана, на востоке ограничена заливом Спенсер, хребтами Грей-Рейндж и Грегори.

Древние кристаллические щиты – Западно-Австралийский (КалгурлиЙорк), Центрально-Австралийский и Северо-Австралийский (КимберлиДарвин). В современном рельефе древние отложения образуют высокогорные системы в соответствующих частях материка.

Антарктическая платформа занимает центральную и восточную территории Антарктиды. На западе она обрамляется Росской складчатой системой Трансантарктических гор, пересекающих весь материк от Земли Виктории до восточного побережья моря Уэдделла.

Гиперборейская платформа («Сверхборея», «Арктида») – гипотетическая докембрийская континентальная платформа. Ее местоположение предполагается в восточном секторе современного Северного Ледовитого океана и ограничивается Новосибирскими островами, островом Врангеля, Аляской, Канадским Арктическим архипелагом и подводным хребтом Ломоносова.

Области байкальской складчатости

К байкалидам относят: Северо-Таймырскую и Енисейско-Байкальскую складчатые области, и Печорскую плиту, расположенные в пределах Урало-Монгольского складчатого пояса.

Северо-Таймырская складчатая область охватывает архипелаг Северная Земля (острова Комсомолец, Пионер, Октябрьской революции, Большевик) и прибрежную часть Таймырского полуострова.

Енисейско-Байкальская складчатая область включает вытянутую в субмеридиональном направлении вдоль западной границы Сибирской платформы Турухано-Норильскую гряду, Енисейский кряж, Восточный Саян, хребты: Приморский, Байкальский, Хамар-Дабан, Улан-Бургасы, Баргузинский, Икатский, Патомское и Северо-Байкальское нагорья (Становое).

На территории Печорской плиты расположены Тиманский кряж, Печорская низменность, остров Колгуев, полуостров Канин. Часть плиты покрывается водами Печорского моря.

Области каледонской складчатости

В Арктическом поясе каледонскими структурами являются: острова Королевы Елизаветы (Инуитские острова) и северная часть Гренландии.

В Северо-Атлантическом поясе к каледонидам относят: восточную часть Гренландии, остров Ньюфаундленд, северо-восточные Аппалачи, Ирландию, Северо-Шотландское нагорье, Скандинавские горы.

Каледонские орогены Урало-Монгольского пояса: центральный Казахстан с северным Тянь-Шанем, восточная часть Алтае-Саянской области и север Монголии.

Центрально-Казахстанская складчатая область – в современном рельефе это горные сооружения Казахского мелкосопочника и Северного Тянь-Шаня. Каледониды Алтае-Саянской области: Салаирский кряж, Кузнецкий Алатау, Западный Саян, хребты Сангилен, Танну-Ола, Шапшальский, Чулышманское нагорье. На каледонской территории Монголии располагаются озёра Убсу-Нур, Ачит-Нур, хребет Хан-Хухей-Нуру.

В Средиземноморском поясе каледонское складчатое основание имеет горно-складчатая область Катазия, в составе которой выделяются горы Наньшань и хребет Алтынтаг.

Области герцинской складчатости

В Северо-Атлантическом поясе герцинские складчатые сооружения образуют южное обрамление древней платформы в виде ветви южных Аппалачей.

В Урало-Монгольском поясе герцинские области протягиваются от мыса Желания на Новой Земле до Сихотэ-Алиня, образуя Урало-Новоземельский, Тянь-Шанский, Джунгаро-Балхашский, Алтайский, Алашаньский и МонголоОхотский орогены и эпигерцинские плиты: Западно-Сибирскую, Туранскую (северная и центральная часть), Таймырскую (Северо-Сибирская).

Урало-Новоземельская складчатая область объединяет архипелаг Новая Земля, остров Вайгач, Уральские горы, Пай-Хой, Мугоджары.

Тянь-Шанская складчатая область – ветвь Южного Тянь-Шаня (Согдиана).

Джунгаро-Балхашская складчатая область прослеживается от озера Балхаш до Гобийского Алтая. На её территории располагаются пустыня Сарыесик-Атырау, простирающаяся между реками Или и Караталом, хребты Джунгарский Алатау и Боро-Хоро, пустыня Гурбантунггют.

Алтайская складчатая область объединяет горные сооружения Горного, Рудного, Могольского и Гобийского Алтая.

На территории Алашаньского орогена в современном рельефе выделяются хребет Иншань и пустыня Алашань, являющаяся составной частью пустыни Гоби и занимающая территорию верхнего течения реки Хуанхэ.

Монголо-Охотский ороген занимает все оставшееся пространство Урало-Монгольского пояса между рекой Селенга и Сихотэ-Алинем. На его территории располагаются крупные горные сооружения: Большой и Малый Хинган, хребет Буреинский, пустыня Гоби.

Западно-Сибирская плита занимает пространство между УралоНовоземельским орогеном, докембрийской Сибирской платформой, каледонскими Казахстанской и Алтае-Саянской складчатыми областями и герцинской – Алтайской. На юго-западе она переходит в Туранскую плиту, граница с которой проводится по широте города Кустаная – по Кустанайской седловине. На севере плита погружается под воды Карского моря.

Туранская плита. В Урало-Монгольском поясе располагаются северная и центральная части плиты, южная часть входит в состав Средиземноморского пояса. Плита занимает обширное пространство к востоку от Каспийского моря в пределах Туранской низменности, плата Устюрт, полуострова Мангышлак, Аральского моря и прилегающих к ним территорий до Казахского мелкосопочника и Тянь-Шаня. Южная граница плиты протягивается от Каспийского моря (южнее залива Кара-Богаз-Гол, с 1980 г. – лагуны Кара-Богаз-Гол) по подножию Копетдага через Самарканд до Ташкента. На севере плита ограничена Восточно-Европейской платформой, герцинским хребтом Мугоджары и эпигерцинской Западно-Сибирской плитой по Кустанайской седловине.

Таймырская (Северо-Сибирская) плита занимает пространство между байкальской Северо-Таймырской областью и Сибирской платформой. На её территории расположены горы Бырранга и Средне-Сибирская низменность.

В Средиземноморском поясе герцинские сооружения прослеживаются в субширотном направлении от Северо-Атлантического пояса до Тихого. К эпигерцинским плитам относятся: Западно-Европейская, Скифская и южная часть Туранской плиты, к складчатым областям – хребты Куньлунь, Циньлин.

Западно-Европейская плита охватывает территории Пиренейского полуострова, за исключением Андалузских гор; Западную Европу, южную часть острова Великобритания. Юго-восточная граница проводится по подножию Альп и Карпат, восточная – по границе с Восточно-Европейской платформой. Крупные горные сооружения плиты – плоскогорье Месета, Пиренейские горы, Вогезы, Арденны, Рудные горы, Судеты, Шварцвальд, Гарц и др.

Скифская плита на севере отделена от Восточно-Европейской платформы планетарными разломами. Южная граница проводится по подножию Горного Крыма и Большого Кавказа. Она охватывает степные просторы Крыма, район Донбасса и Предкавказья, разделённые водными пространствами Азовского моря.

В новейшей литературе зачастую Скифская и Туранская плиты рассматриваются как единое целое и для них используется термин «Скифско-Туранская плита».

Горная цепь Куньлунь располагается западнее Памира и простирается в восточном направлении более чем на 2500 километров. Циньлин – восточное продолжение хребта Куньлунь.

В Тихоокеанском поясе располагается эпигерцинская Патагонская плита, занимающая южную часть Южной Америки и расположенная к югу от реки Рио-Негро. Западная граница – подножие Анд, восточная – неровная береговая линия Атлантического океана.

Области мезозойской складчатости

В восточной части Средиземноморского пояса в мезозое сформировалась Тибетско-Индокитайская складчатая область, которая охватывает территорию от Памира до Сингапура и включает южный Тибет, бассейн реки Меконг, полуостров Малакка.

В Тихоокеанском поясе к мезозоидам относят Верхояно-Чукотскую складчатую, Сихотэ-Алинскую и Внутри-Кордильерскую складчатые области. На стыке Тихоокеанского и Атлантического поясов располагается Мексиканская складчатая область.

Верхояно-Чукотская область располагается на стыке Тихоокеанского и Арктического поясов. Область включает территории Восточной Сибири к востоку от рек Лена и Алдан до Корякского нагорья и побережья Охотского моря, остров Врангеля, Новосибирские острова, море Лаптевых.

Сихотэ-Алинская область в современном рельефе выражена СихотэАлинским горным сооружением, которое простирается вдоль побережья Приморья от Уссурийского залива на юге до Шантарских островов на севере.

Внутри-Кордильерская область протягивается по восточной окраине Северо-Американского континента от Калифорнийского залива до острова Нунивак, охватывая территории Кордильер, Скалистых гор, гор Маккензи и бассейн реки Юкон между хребтами Брукс и Аляскинский.

Мексиканская складчатая область, расположенная на стыке Тихоокеанского (Кордильерского) и Атлантического поясов, занимает прибрежные равнины Мексиканского залива и полуостровов Флорида и Юкатан.

Капская складчатая область располагается на крайнем юге Африканского континента и охватывает бассейн реки Оранжевая и Драконовы горы.

Результаты альпийской складчатости

В Северо-Атлантическом поясе располагается одна альпийская складчатая область – остров Исландия.

Альпиды Средиземноморского пояса протягиваются от Карибского моря до Индийского океана. В Карибском бассейне – это Большие и Малые Антильские острова, в Средиземноморском бассейне – Андалузские горы на юге Пиренейского полуострова; Атласские горы севера Африки; Болеарские острова и острова Корсика, Сардиния, Сицилия; Аппенины, Альпы, Карпаты, Динары, Пинд, Стара Планина, Родопы, Тавр; в Черноморском бассейне – Крым, Кавказ (Большой и Малый), Понтийские горы.

К альпидам относятся горные сооружения Загросса, Кухруда, Эльбурса, Копетдага, Гиндукуша, Памира, Гималаев, хребет Аракан-Йома на территории Бирмы – результат взаимодействия Аравийской, Индостанской и Евразийской плит в кайнозой; горные сооружения Оманского залива по линии Дубай–о-в Масира на Аравийском полуострове; острова Суматраи и Ява.

В Тихоокеанском поясе альпийские складчатые области располагается по западной окраине обеих Америк, по периферии Евроазиатского, Австралийского и Антарктического континентов. Альпиды Западно-Тихоокеанской ветви – Корякское нагорье, Камчатка, Сахалин, Курильские острова, Алеутские острова, Япония, Тайвань, Филиппины, Калимантан, Сулавеси, Новая Гвинея. На Австралийском континенте к альпидам относятся хребет Флиндерс, расположенный севернее залива Спенсер, Большой Водораздельный хребет и остров Тасмания.

В Восточно-Тихоокеанской ветви к альпидам относят: Аляскинские хребты, Береговые хребты, Центральную Америку, горные сооружения Анд.

Контрольные вопросы по разделу

1. Что такое тектоническая структура? Приведите примеры наиболее крупных структур земной коры.
2. Каковы отличительные признаки океанической и континентальной коры?
3. Дайте характеристику основных структур океанов.
4. Что понимается под спредингом?
5. Что понимается под субдукцией?
6. Расшифруйте термин – рифт.
7. Дайте определение складчатого пояса.
8. Какие межконтинентальные пояса Вы знаете? Покажите на физической карте мира.
9. Покажите на физической карте мира окраинно-континентальные пояса.
10. Перечислите основные структуры складчатых поясов.
11. Какие структуры принято называть антиклинориями?
12. Какие структуры принято называть синклинориями?
13. Какими отложениями выполняются межгорные прогибы?
14. Где возникают краевые прогибы? Приведите примеры наиболее крупных краевых прогибов земной коры.
15. Что характерно для окраинных вулканических поясов?
16. Что понимается под платформой? Отличительные признаки платформ.
17. Какие тектонические движения доминируют на платформах?
18. Что понимается под фундаментом платформ? Охарактеризуйте его строение.
19. Перечислите структуры, выделяемые в строении платформ.
20. Что понимается под тектоническим нарушением?
21. Время образования древних платформ.

6. ГИДРОГЕОЛОГИЯ

Гидрогеология представляет собой науку геологического цикла, которая изучает закономерности распространения подземных вод, их происхождение, условия перемещения, свойства, состав, взаимодействие с горными породами и возможность их хозяйственного использования. Некоторые определения уточняют, что это наука естественного цикла, изучающая законы строения и развития подземной части гидросферы Земли, процессы, происходящие в ней в естественных условиях и в условиях интенсивного антропогенного воздействия (В.А. Всеволожский). Процессы подземной гидросферы тесно связаны с вопросами, которые изучают инженерная, динамическая и экологическая геологии, а также гидрология, палеогеография, петрология.

В современной гидрогеологии выделяют ряд теоретических и прикладных разделов или самостоятельных направлений. Основными теоретическими разделами гидрогеологии являются: общая гидрогеология, которая изучает вопросы происхождения, формирования, геологическую роль подземных вод, их физические свойства и химический состав, баланс, режим и общие закономерности перемещения; динамика подземных вод, которая исследует законы движения подземных вод, закономерности формирования их гидродинамического режима и ресурсов; гидрохимия, изучающая условия миграции химических элементов в подземной гидросфере и процессы формирования химического состава подземных вод, региональная гидрогеология, исследующая закономерности распространения и формирования подземных вод в различных типах гидрогеологических структур и регионов, разрабатывающая принципы гидрогеологического картирования и районирования; палеогидрогеология, которая выясняет историю развития подземной гидросферы, роль подземных вод в геологических процессах прошлого.

Прикладные разделы гидрогеологии отражают многообразие использования подземных вод как важнейшего полезного ископаемого и их влияние на различные стороны хозяйственной деятельности человека. Основными прикладными разделами современной гидрогеологии являются поиски, разведка и оценка запасов и ресурсов подземных вод, изучающие типы месторождений подземных вод, условия формирования и методы оценки. Учение о минеральных водах рассматривает вопросы формирования солевого и газового состава этих вод, условия их практического использования в бальнеологии и для извлечения полезных компонентов (промышленные воды). Гидрогеология месторождений полезных ископаемых изучает условия разработки различных месторождений, в том числе инженерно-геологическое обоснование шахтного строительства, а нефтегазовая гидрогеология специализируется на исследовании гидрогеологических особенностей месторождений углеводородов, разработке нефтегазопоисковых показателей и использовании гидрогеологических данных при разработке нефтяных и газовых месторождений. Мелиоративная гидрогеология включает проведение исследований при проектировании и эксплуатации оросительных и осушительных мелиоративных систем с целью оптимизации водно-солевого режима мелиорируемых земель; инженерная гидрогеология занимается изысканиями при проектировании и строительстве различных инженерных сооружений, прогнозом и разработкой мер по предотвращению негативных явлений, связанных деятельностью подземных вод, а экологическая гидрогеология призвана охранять подземные воды от истощения и загрязнения и выяснять гидрогеологические аспекты охраны природной среды.

Накопление народного опыта по использованию подземных вод для питья и лечебных целей началось с незапамятных времен. Еще в античную эпоху были высказаны первые соображения относительно происхождения подземных вод (Фалес Милетский, Аристотель, Витрувий Поллио). Некоторые ученые считают, что начало научной гидрогеологии можно отнести к 1674 году, когда французский ученый П. Перро в своем труде «О происхождении источников» попытался рассчитать количественный баланс воды в бассейне Сены, в том числе долю осадков, поглощаемых горными породами.

Подземные воды имеют большое практическое применение. С одной стороны, они сами по себе представляют полезное ископаемое. По выражению академика А.П. Карпинского (1931), «подземные воды – это самое драгоценное полезное ископаемое»; такая точка зрения становится сейчас общепринятой. Пресные подземные воды используются для питьевого, хозяйственного, технического водоснабжения, для орошения сельскохозяйственных угодий. Нужно отметить использование минеральных лечебных вод в бальнеологической практике, промышленных вод для получения химических веществ, термальных вод для теплофикации и получения электроэнергии.

С другой стороны, знание гидрогеологических условий необходимо для решения различных хозяйственных задач. При мелиоративных работах изучение подземных вод необходимо для

создания оптимального водного режима для сельскохозяйственных угодий, предотвращения засоления почв. Изучение подземных вод является составной частью геологических исследований при поисках, разведке и разработке месторождений различных полезных ископаемых, в том числе нефтяных и газовых. Гидрогеологические исследования необходимы для обоснования различных видов строительства (гидротехнического, промышленного, городского и др.).

Изучение гидрогеологических условий играет важную роль при решении вопросов охраны природы как собственно подземных вод, так и ландшафтов, поверхностных вод, питающих подземную гидросферу, и ряда других. Кроме того, гидрогеологические особенности в большой степени влияют на инженерно-геологические условия территорий, что также требует специальных исследований.

6.1. Типы подземных вод и условия формирования их в литосфере

С образованием Мирового океана вода принимает участие в различных круговоротах, которые охватывают гидросферу, атмосферу и литосферу. По этой причине конкретные источники и пути попадания воды в пустоты горных пород могут быть различными. Поэтому, несмотря на продолжающиеся споры, большинство исследователей признает существование в недрах различных генетических типов подземных вод.

Инфильтрационные (инфильтрационные) воды формируются путем просачивания (инфильтрации) атмосферных осадков в поры горных пород или инфильтрации (вливания) поверхностных вод в крупные пустоты – каверны и трещины. Иногда в пустынных и карстовых районах в кавернах и трещинах горных пород в зоне аэрации происходит конденсация паров воды в результате снижения температуры в ночное время. Образующиеся таким путем подземные воды называют конденсационными. По своему источнику и инфильтрационные, и конденсационные воды являются атмосферными, или метеогенными, рожденными внешними процессами. Инфильтрационные воды имеют облегченный изотопный состав молекул воды и по водороду, и по кислороду, такой же, как пары воды в атмосфере. Они распространены в верхней части земной коры. Их циркуляция образует подземную ветвь материкового звена большого гидрологического круговорота воды в природе.

Седиментогенные (седиментационные) воды образуются в результате захоронения вод в порах осадка бассейнов осадконакопления. В процессе уплотнения осадка часть этих вод отжимается и перемещается в другие породы. Наибольшие объемы седиментогенных вод захороняются совместно с глинистыми и эвапоритовыми осадками. Основной источник этих вод – морская, океаническая вода, поэтому их называют также талассогенными. Морские воды могут проникать в уже существующие горные породы также в результате трансгрессии моря. Седиментогенные воды имеют более тяжелый изотопный состав молекул воды по сравнению с инфильтрационными, который соответствует изотопному составу вод эпиконтинентальных морей и лагун. Они широко распространены в глубоких горизонтах артезианских бассейнов, в том числе в нефтегазоносных горизонтах.

Литогенные (катагенные) воды образуются в результате выделения связанной (цеолитной, межслоевой, кристаллизационной) воды, которая высвобождается в процессе дегидратации минералов осадочных пород при погружении содержащих ее отложений и росте температур. Основную роль играет межслоевая вода монтмориллонита, выделяющаяся при его превращении в гидрослюда в зоне глубинного катагенеза при температурах более 100–120°C на глубинах более 4–5 км. Литогенные воды обычно смешиваются с седиментогенными, разбавляя последние.

Метаморфогенные воды формируются в результате выделения свободной гидроксильной воды, освобождающейся при дегидратации минералов осадочных и магматических пород в зоне метаморфизма при температурах более 300–400°C, или высвобождения воды из газово-жидких включений в минералах.

Конденсатогенные воды (их не следует путать с конденсационными) образуются вследствие конденсации паров воды из газовых струй (в основном углеводородных газов) при их восходящей миграции, когда в результате снижения температуры и давления уменьшается растворимость воды в газе.

Магматогенные (ювенильные) воды возникают в результате синтеза молекул воды из атомов водорода и кислорода при подъеме и остывании магмы. Исследования изотопного состава показали, что ювенильные воды присутствуют в количестве 5–10 % в составе термальных вод областей современного вулканизма и в составе гидротерм дна Мирового океана.

Формирование всех типов вод, кроме инфильтрационных, теснейшим образом связано с различными геологическими процессами (седиментогенез, диагенез, катагенез, метаморфизм, магматизм, тектогенез), и их перемещение в земной коре представляет собой геологический круговорот воды в природе.

6.2 Динамика подземных вод

Подземные воды присутствуют в горных породах: 1) в свободном состоянии, способном к самостоятельным формам движения – пар, гравитационная вода (просачивающаяся, капельно-жидкая, подземных потоков), вода в надкритическом состоянии; 2) в связанном состоянии, не способном к самостоятельным формам движения без перехода в свободное состояние; это физически связанная вода (прочносвязанная, рыхлосвязанная, осмотическая, капиллярная), химически связанная, (кристаллизационная, цеолитная, межслоевая вода монтмориллонита, конституционная), иммобилизованная (вакуольная), вода в твердом состоянии в виде льда, а также в виде газогидратов.

В гидрогеологическом разрезе земной коры сверху вниз от поверхности земли выделяются: 1) зона аэрации; 2) криолитозона; 3) зона насыщения; 4) зона подземных вод в надкритическом состоянии.

Зона аэрации представляет собой верхнюю не полностью насыщенную часть разреза горных пород, мощность которой изменяется от первых сантиметров на равнинных пониженных участках территории до 200–250 м, иногда и более на интенсивно расчлененных междуречных пространствах горных районов. В пределах акваторий зона аэрации отсутствует. Криолитозона развита в области распространения многолетнемерзлых пород (высокие широты Северного и Южного полушарий, высокогорные районы). Ее мощность изменяется от первых метров до 1000–1500 м. Основная масса подземных вод находится здесь в твердом состоянии (лед, газогидраты), а также в виде физически связанной воды, промерзающей при температурах ниже 0°C. Свободная гравитационная вода присутствует только в пределах таликов.

Зона полного насыщения охватывает верхнюю часть разреза земной коры от уровня первого водоносного горизонта (нижняя граница зоны аэрации) до глубин 8–20 км. В пределах этой зоны свободное пространство в минеральном скелете горных пород (поры, трещины, каверны) полностью заполнено свободной гравитационной и физически связанной водой, за исключением участков, свободное пространство которых заполнено газом, нефтью или пароводяной смесью.

Нижняя часть разреза земной коры до границы с верхней мантией рассматривается в настоящее время (Е.В. Пиннекер, В.А. Всеволожский) как зона, содержащая подземные воды в надкритическом состоянии, когда при температурах более 374–450°C и давлениях более $2,2 \cdot 10^4$ – $3,5 \cdot 10^4$ кПа различие между жидкостью и газом фактически отсутствует. При определенных условиях вода в связанном состоянии может переходить в свободное состояние и включаться в круговорот воды или, наоборот, переходить в связанное состояние.

В разрезе зоны аэрации обычно выделяют три характерных горизонта подземных вод: воды почвенного слоя, верховодка и воды капиллярной каймы. Горизонт почвенных вод формируется в самой верхней части разреза вблизи поверхности земли и имеет мощность от первых десятков сантиметров до 1–2 м, реже более. Верховодкой называются локально распространенные и, как правило, непостоянно существующие (сезоны основного увлажнения, многоводные годы) скопления гравитационных вод, формирующихся на пространственно невыдержанных слабопроницаемых (водоупорных) породах в зоне аэрации выше уровня грунтовых вод. Верховодка, образующаяся в результате техногенного питания, может служить причиной подтопления территорий.

Воды капиллярной каймы связаны непосредственно со свободной поверхностью первого водоносного горизонта, который называется грунтовым водоносным горизонтом (грунтовые воды). При вскрытии такого водоносного горизонта уровень воды устанавливается на отметке вскрытия, поэтому грунтовые воды называются безнапорными. В формировании грунтовых вод решающее значение имеют физико-географические факторы – климатические и геоморфологические особенности при подчиненной роли геологических факторов.

Принципиально различаются условия питания, формирования гидродинамического и гидрохимического режима для грунтовых вод областей избыточного и недостаточного увлажнения (гумидные условия) и областей недостаточного увлажнения (аридные условия). В первом случае вследствие многократной промытости пород формируются ультрапресные и пресные грунтовые воды выщелачивания. Во втором случае в результате испарения и поверхности капиллярной каймы формируются минерализованные (вплоть до рассолов) грунтовые воды континентального засоления.

Специфическими особенностями характеризуется формирование грунтовых вод в зоне многолетней мерзлоты.

Водоносные горизонты, залегающие между двумя слабопроницаемыми (водоупорными) пластами, называются межпластовыми, а насыщающие их воды – межпластовыми или пластовыми. В отличие от грунтового водоносного горизонта, верхней границей которого является свободная поверхность подземных вод, межпластовые горизонты имеют слабопроницаемую (водоупорную) кровлю и подошву.

При вскрытии межпластового водоносного горизонта буровой скважиной вода под действием напора поднимается выше кровли горизонта и устанавливается на определенной отметке, которая называется пьезометрическим напором, являющимся мерой энергии потока движущейся жидкости. Таким образом, межпластовые воды, в отличие от грунтовых, являются напорными. Их называют также артезианскими.

Поверхность, до которой поднимаются уровни напорных вод, называется пьезометрической. Если пьезометрическая поверхность водоносного горизонта располагается выше поверхности земли, то из скважины будет переливаться или фонтанировать вода. Линии, соединяющие точки с одинаковой абсолютной отметкой установившегося уровня напорных вод, называются гидроизопьезами. Подземные воды движутся в направлении снижения уровней.

Областями питания водоносных горизонтов инфильтрационными водами являются междуречные пространства, а зонами разгрузки, в том числе в виде источников, являются долины рек, морские и озерные побережья. Формирование гидродинамического и гидрохимического режима артезианских вод в меньшей степени по сравнению с грунтовыми зависит от физико-географических условий и определяется, прежде всего, геологическими факторами – литологическим составом пород, характером геологической структуры.

Вода в свободном состоянии, а также некоторые виды связанной воды могут находиться в горных породах, благодаря тому, что большинство пород обладают скважностью (пустотностью), под которой понимается свободное пространство в минеральном скелете, представленное пустотами различной формы, размера и генезиса. Различают общую, открытую и эффективную скважность. Открытая скважность относится к сообщающимся между собой открытым пустотам и исключает изолированные, или закрытые пустоты. Под эффективной скважностью понимают объем открытых пустот, по которым может происходить движение гравитационной воды, то есть исключаются открытые пустоты, занятые различными видами связанной воды, заземленным воздухом или газом.

Коэффициент скважности представляет отношение объема того или иного вида пустот к объему всего образца, выраженное в процентах. В общем случае величины общей, открытой и эффективной скважности определяются соотношением $n_c \geq n_o \geq n_{эф}$. При этом соотношение значений открытой и эффективной скважности горных пород определяется главным образом преобладающими размерами пустот.

В зависимости от диаметра (d) пустот или их ширины (λ) для пустот, имеющих линейную форму, различают субкапиллярную ($d < 0,002$ мм, $\lambda < 0,0001$ мм), капиллярную ($d 0,0002-0,5$ мм, $\lambda 0,0001-0,25$ мм) и сверхкапиллярную ($d > 0,5$ мм, $\lambda > 0,25$ мм) скважность.

Основными морфологическими видами скважности горных пород, которые определяются генезисом, составом породы и условиями ее эпигенетического преобразования, являются пористость, трещиноватость и кавернозность. Пористыми горными породами (пористыми средами) называются породы, у которых свободное пространство представлено небольшими пустотами (менее 1 мм) изометрической формы. Сюда относятся, прежде всего, обломочные горные породы. Так, пески обычно имеют пористость 25–35 %, песчаники 10–20 %, глины 20–40 %, илы 50 и более процентов. Трещиноватыми могут быть литифицированные осадочные, метаморфические и магматические (скальные) горные породы. Генетически трещиноватость может быть экзогенной, тектонической, диагенетической, сингенетической. Кавернами называются крупные (более 1 мм) изометрические пустоты, формирующиеся в минеральном скелете горных пород главным образом в результате выщелачивания легкорастворимых соединений. Они характерны для карбонатных пород (известняки, доломиты) и гипсов.

Способность горных пород пропускать через себя воду, другие жидкости и газы под действием силы тяжести или градиента давления называется проницаемостью. Коэффициент проницаемости (K_p) зависит только от свойств породы и не зависит от свойств фильтрующейся жидкости или газа. Размерность площади K_p – м². Коэффициент фильтрации (K_f) (коэффициент водопроницаемости), широко используемый в гидрогеологии, зависит от свойств горной породы (эффективная скважность, размеры пустот, их форма и др.), и учитывает свойства фильтрующейся

пресной воды. Размерность скорости K_f – м/сут., см/с и т. д. Коэффициент проницаемости и коэффициент фильтрации связаны между собой следующим соотношением:

$$K_n = K_f \cdot \mu / \gamma = K_f \cdot \mu / \rho g, \quad (6.1)$$

где μ – вязкость флюида; γ – объемный вес; ρ – плотность.

Проницаемость реальных горных пород изменяется в пределах 10 порядков. По величине коэффициента фильтрации (K_f , м/сут) горные породы разделяются на следующие группы (В.А. Всеволожский, 1991):

Очень высокопроницаемые	Более 100 м/сут.	гравий, галька, интенсивно закарстованные известняки и гипсы
Высокопроницаемые	10–100 м/сут.	крупно- и грубозернистые пески, интенсивно трещиноватые скальные породы
Проницаемые	0,1–10 м/сут.	разно-, тонко- и мелкозернистые пески, слаботрещиноватые породы
Слабопроницаемые	10 ⁻⁶ –10 ⁻² м/сут.	суглинки, песчанистые глины, очень слаботрещиноватые скальные породы
Практически непроницаемые	<10 ⁻⁶ м/сут.	плотные и вязкие нетрещиноватые глины, монолитные скальные породы

Вследствие наличия сообщающихся пустот в горных породах подземные воды, а также нефть и природные газы могут перемещаться. Существуют различные виды движения подземных вод (движение под действием молекулярных сил – диффузия, осмос, свободное просачивание в зоне аэрации и др.). Основным видом движения подземных вод является фильтрация.

Фильтрация может быть безнапорной и напорной, установившейся (стационарной) и неустановившейся, равномерной и неравномерной, ламинарной и турбулентной. Ламинарная фильтрация подчиняется линейному закону фильтрации, открытому в 1856 г. французским гидравликом А. Дарси. Согласно закону Дарси:

$$K_n = K_f \cdot \mu / \gamma = K_f \cdot \mu / \rho g, \quad (6.2)$$

где q – расход фильтрационного потока; k – коэффициент фильтрации; F – площадь поперечного сечения потока; ΔH – снижение (потеря) напора на пути фильтрации; λ – длина пути фильтрации.

Фильтрационный поток представляет собой воображаемый поток подземных вод, в котором движение воды происходит не по открытым пустотам, а по всему поперечному сечению потока. Поэтому скорость фильтрации всегда меньше реальной скорости движения воды в породе.

Закон Дарси справедлив при ламинарном течении воды, когда скорость воды относительно невелика (менее 1000 м/сут.). При больших скоростях движение воды приобретает турбулентный характер, который подчиняется так называемому квадратичному закону фильтрации, или закону Гнези-Краснопольского.

При очень малых скоростях воды в тонкодисперсных средах также наблюдается нарушение закона Дарси, связанное с проявлением сил молекулярного взаимодействия между частицами воды и породы.

Подземный сток характеризует расход подземного потока в пределах рассматриваемого элемента подземной гидросферы. Площадный модуль подземного стока представляет расход на 1 км² расчетного элемента в л/с•км². Он может быть выражен также слоем подземного стока в мм/год. Максимальные значения модулей подземного стока характерны для районов с большим количеством выпадающих атмосферных осадков и развитием на поверхности горных пород, хорошо их поглощающих (грубообломочные породы, интенсивно трещиноватые и закарстованные породы). Так, на карстовых массивах Западного Кавказа модуль подземного стока достигает 30–35 л/с•км². Минимальные значения модулей подземного стока отмечаются в пустынных районах и в районах развития многолетней мерзлоты. Здесь они составляют 0,01–0,001 л/с•км² и менее.

Коэффициент подземного стока представляет отношение годового слоя (мм/год) подземного стока к годовой норме атмосферных осадков (мм/год), то есть показывает, какая часть атмосферных осадков (%) расходуется на формирование подземного стока рассматриваемого района. Максимальные значения коэффициентов подземного стока характерны для некоторых карстовых районов, например, на Крымской Яйле он достигает 70 %. Минимальные их значения наблюдаются в пустынных районах, где осадков выпадает мало, и они в основном испаряются, и в районах, где на поверхности развиты слабопроницаемые породы (многолетнемерзлые, глинистые и др.). Здесь коэффициенты подземного стока часто не превышают 0,5–0,1 %.

Интенсивность процессов подземного стока характеризуется сроком водообмена и коэффициентом водообмена. Срок водообмена – это отношение геологических запасов подземных вод рассматриваемого элемента подземной гидросферы к суммарному расходу подземного потока. Он характеризует длительность периода, в течение которого может произойти полное возобновление геологических запасов подземных вод. Коэффициент водообмена показывает, какая часть объема подземных вод данного элемента может возобновиться в течение года.

Интенсивность водообмена в гидрогеологических структурах снижается по мере увеличения глубины залегания водоносного горизонта. По этому признаку Н.К. Игнатович (1944) предложил выделять сверху вниз три гидродинамические зоны: активного водообмена, затрудненного водообмена и застойного водного режима.

Во второй половине XX в. изучение гидрогеологических особенностей глубоких частей разреза показало, что гидрогеологические характеристики с глубиной изменяются не только количественно, но и с определенной глубины испытывают коренные качественные изменения. Это обстоятельство учтено в представлениях о существовании в разрезе земной коры двух гидрогеологических (гидродинамических) этажей – верхнего и нижнего (И.К. Зайцев и др.).

Верхний гидрогеологический этаж, по Н.К. Игнатовичу, включает две первые зоны и характеризуется развитием артезианской циркуляции подземных вод. Они получают инфильтрационное питание в горах, на водоразделах и разгружаются в долинах рек, на побережьях озер, морей и океанов. Воды инфильтрационные, преимущественно пресные (хотя возможны и соленые и даже рассольные), включают водорастворенные газы атмосферного и биохимического происхождения. Верхний гидрогеологический этаж охватывает верхнюю часть земной коры, обычно до глубины 1–1,5 км, иногда меньше и очень редко – больше. В верхнем гидрогеологическом этаже реализуется подземная ветвь гидрологического круговорота воды в природе.

Нижний гидрогеологический этаж охватывает глубокие части разреза и также включает две гидродинамические зоны. Верхняя зона нижнего этажа, по Н.К. Игнатовичу, соответствует зоне застойного региона (весьма затрудненного водообмена) и характеризуется режимом, близким к застойному, с незначительным перемещением и маломасштабной разгрузкой в верхний гидрогеологический этаж преимущественно седиментогенных вод различной минерализации с углеводородными растворенными газами.

Нижняя зона нижнего этажа (термодегидратационная) развита на глубинах более 4–5 км и характеризуется активным выделением литогенной (дегидратационной) воды, формированием замкнутых резервуаров со сверхгидростатическими давлениями и периодической пульсационной разгрузкой избыточного флюида в верхние части разреза. Тектонические напряжения активно влияют на движение воды в этой зоне. Воды седиментогенные и литогенные, а на больших глубинах, вероятно, метаморфогенные. Газы метановые и метаново-углекислые.

В акваториях, за исключением прибрежной полосы, верхний гидрогеологический этаж отсутствует, а верхняя зона нижнего этажа характеризуется развитием элизионных гидродинамических систем с активным выжиманием седиментогенных вод из уплотняющихся осадков. Периодическая разгрузка вод из резервуаров со сверхгидростатическими давлениями часто осуществляются через эруптивные аппараты грязевых вулканов. Движение воды в нижнем гидрогеологическом этаже относится к геологическому круговороту воды в природе.

6.3 Физические свойства и состав подземных вод, их классификация

Подземные воды являются сложным природным объектом, свойства которого определяются свойствами самой воды и теснейшим образом связаны с особенностями водовмещающих пород и природных условий, формирующих их. Данное обстоятельство определяет значительные трудности классифицирования подземных вод. Именно по этой причине, несмотря на многочисленные попытки, до настоящего времени не разработана единая классификация подземных вод. В связи с этим в гидрогеологии используются частные классификации по тем или иным показателям.

К числу хорошо разработанных и широко используемых показателей относятся классификации:

1. по величине минерализации (сумме растворенных веществ);
2. по химическому составу, учитывающие одну или несколько групп компонентов (макрокомпоненты, микрокомпоненты, газовый состав и др.);
3. по температуре;
4. по типу водовмещающих пород;
5. по условиям залегания;

6. по происхождению (генетические типы);
7. по типу гидрогеологических структур;
8. по условиям (возможностям) использования их человеком.

Одни классификации (1–3) учитывают собственно различия состава и свойств подземных вод. Другие (4, 5) отражают условия формирования подземных вод, определяемые типом водовмещающих пород и строением гидрогеологического элемента. Третьи (6, 7) обобщенно учитывают различия комплекса условий и процессов, определенным образом меняющихся в течение длительного интервала геологической истории.

В подземных, как и в других природных водах, всегда в тех или иных количествах присутствуют минеральные, органические вещества, газы, живое вещество. Твердые, жидкие, газообразные вещества могут содержаться в подземных водах в различных формах, иметь различный изотопный состав. Сама вода – это химическое соединение с удивительными и неожиданными свойствами. Таким образом, подземные воды представляют собой сложнейшую систему, состав, состояние и свойства которой в каждом конкретном случае определяются свойствами самой воды и содержащихся в ней веществ, а также условиями взаимодействия их между собой и с окружающей средой.

Физические свойства подземных вод являются важнейшими показателями их качества. Обычно определяют такие их свойства, как мутность, прозрачность, цветность, запах, вкус, температура, плотность, вязкость, электропроводность, радиоактивность, pH, Eh.

По температуре подземные воды разделяются на переохлажденные (менее 0°C), холодные (0–20°C), теплые (20–37°C), горячие (37–100°C) и перегретые (более 100°C). Минимальные температуры подземных рассолов до –10–16°C (криопэги) зафиксированы в зоне многолетнемерзлых пород в Якутии. Максимальные температуры подземных вод до +350–375°C замерены в местах выхода субокеанических гидротерм.

Различают изотопный состав молекул воды и содержащихся в ней элементов; химический, газовый, микробиологический составы воды. Соотношение стабильных изотопов водорода (1H и 2H, или D) и кислорода (¹⁶O, ¹⁷O, ¹⁸O) молекул воды является важнейшим показателем генезиса подземных вод. Радиоактивные изотопы молекул воды (³H, или T) и растворенных в ней веществ (¹⁴C и др.) могут использоваться для определения абсолютного возраста воды.

Под химическим составом подземных вод понимают совокупность содержащихся в них минеральных и органических соединений за исключением тех, из которых состоит живое вещество воды. Основой химического состава природных вод Земли (дождевых, речных, морских, океанических, подземных) является ограниченный набор ионов. Это анионы: Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, CO₃²⁻; катионы: Na, Mg, Ca, K, а также кремнекислота (HSiO₃), присутствующая в подземных водах преимущественно в молекулярной форме. Перечисленные ионы являются преобладающими в составе большинства подземных вод, их называют макрокомпонентами. По преобладающим анионам и катионам, и их соотношениям строятся гидрохимические классификации подземных вод.

В меньших количествах (обычно первые мг/дм³) присутствуют также ионы NH₄⁺, Fe, NO₃⁻, NO₂⁻, H₃PO₄, иногда Br⁻, I⁻, F⁻, Sr²⁺, Al; их называют мезокомпонентами. Микрокомпоненты (Pb, Zn, Cu, As, Sb, Ag, Mo, CO, Ba, Be, Se, Li, Rb, Cs, Ni, Mn, V), радиоактивные элементы (Ra, U, Rn, Th) и многие другие могут присутствовать в подземных водах – обычно в количестве от единиц до сотен мкг/дм³.

Интегральной характеристикой общего количества вещества в подземных водах является расчетная величина – минерализация и определяемый экспериментально сухой остаток. Минерализация (г/дм³, мг/дм³, г/кг, мг/кг) подземных вод изменяется от 30–50 мг/дм³ до 600–670 г/дм³. По величине минерализации подземные воды (по И.К. Зайцеву) разделяются на пресные (до 1 г/дм³): весьма пресные (до 0,1 г/дм³), нормальные пресные (0,1–0,5 г/дм³), жесткие пресные (0,5–1,0 г/дм³); соленые: солоноватые (1–3 г/дм³), слабосоленые (3–10 г/дм³), сильносоленые (10–35 г/дм³) и рассолы: весьма слабые рассолы (35–70 г/дм³), слабые рассолы (70–170 г/дм³), крепкие рассолы (170–320 г/дм³), весьма крепкие рассолы (320–440 г/дм³), сверхкрепкие рассолы (>440 г/дм³). Существуют и другие градации для разделения вод по степени минерализации. В частности, в качестве границы между солеными и рассольными водами иногда принимают минерализацию 50 г/дм³. Специфическими показателями качества воды являются жесткость, обусловленная наличием в ней соединений кальция и магния, и агрессивность – показатель способности воды к разрушению цемента, бетона, металлов.

Широкое распространение получило лаконичное выражение результатов анализа подземных вод в виде формулы Курлова или сокращенного ее варианта – формулы ионного состава. Формула ионного состава представляет псевдодробь, в числителе которой в порядке убывания концентраций в

процентах эквивалентах (% молях) указываются основные анионы, а в знаменателе основные катионы. Перед псевдодробью указывается минерализация в г/дм³. В формуле Курлова перед минерализацией указываются также данные о растворенных газах и микрокомпонентах, а после псевдодробы – температура воды (°С) и дебит источника (скважины) в л/сут.

Например, сероводородная вода Новая Мацеста из верхнеюрских известняков на курорте Сочи имеет такую формулу Курлова:

$$H_2SO, 421 Br0,06 M26,0 \frac{Cl97HCO_32}{(Na+K)79Ca14} T34,5D \Sigma 40 \quad (6.3)$$

Кроме растворенных минеральных веществ в подземных водах присутствуют разнообразные водорастворенные органические соединения: в верхних горизонтах – гуминовые кислоты, фульвокислоты, в глубоких горизонтах – нафтенновые кислоты, фенолы, углеводороды, в том числе ароматические – бензол, толуол и другие.

Подземные воды всегда содержат те или иные газы в растворенном состоянии. В верхних горизонтах преобладают азот и кислород, глубже появляется сероводород, углекислый газ. В глубоких водоносных горизонтах преобладает метан и его гомологи – этан, пропан, бутан и азот. Всегда присутствуют также инертные газы – гелий, аргон. В районах недавней вулканической активности основным компонентом газового состава является углекислый газ.

Микрофлора подземных вод может быть представлена литотрофными или хемотрофными микроорганизмами: сульфатредуцирующими, метанообразующими, нитрифицирующими, серобактериями, железобактериями и др. Присутствие патогенных бактерий является следствием загрязнения подземных вод. Их присутствие определяется при санитарной оценке и контроле качества питьевых вод (коли-титр).

6.4 Водоносные комплексы и структуры

Чередование в разрезе гидрогеологических структур проницаемых и слабопроницаемых пород определяет гидрогеологическую стратификацию разреза. Основными ее элементами являются водоносные горизонты, сложенные проницаемыми породами – песками, песчаниками, трещиноватыми и закарстованными карбонатными породами, трещиноватыми скальными породами и слабопроницаемыми (водоупорными) горизонтами, сложенными слабопроницаемыми (глины, мергели) и практически непроницаемыми породами (каменная соль, монолитные скальные породы). Серия смежных водоносных горизонтов, сходных по своим характеристикам и близких по возрасту, которые разделены локальными водоупорами, образует водоносный комплекс.

На основании различия генезиса и структуры свободного пространства в минеральном скелете водонасыщенных горных пород выделяются пластовые, трещинные и трещинно-карстовые воды, а также водоносные системы.

Пластовые воды характерны для рыхлых и слабосцементированных осадочных пород. Свободное пространство (пустотность) здесь представлено в основном пористостью. Это наиболее широко распространенный тип водоносных систем (порово-пластовые воды). Развита также пластовые системы с трещинным (песчаники) и трещинно-карстовым (карбонатные и сульфатные породы) типом пустотности.

Трещинные подземные воды являются основным типом гравитационных вод в магматических, метаморфических, сильно литифицированных осадочных и вулканогенных породах. Схема их деления следующая.

Трещинные подземные воды зоны экзогенной трещиноватости, связанные с выветриванием, распространены повсеместно в верхней части массивов скальных пород различного состава и генезиса. Мощность верхней зоны с интенсивной экзогенной трещиноватостью обычно изменяется от нескольких до 100–150 м и зависит от состава и возраста пород, степени их дислоцированности, рельефа, климатических условий и других факторов. Глубже располагается зона затухающей трещиноватости, которая может распространяться до глубин 500–800 м.

Трещинно-жильные воды зон тектонических нарушений связаны с полостями тектонических разрывов и оперяющих их зон интенсивной трещиноватости. Циркуляция подземных вод по проницаемым зонам нарушений достигает глубин 4–5 км и, вероятно, более. С разгрузкой трещинно-жильных вод в тектонически активных областях связаны выходы источников термальных вод, разнообразных минеральных вод, а неожиданное вскрытие таких зон горными выработками часто сопровождается мощными, иногда катастрофическими притоками воды и пульпы (Северо-Муйский туннель и др.).

Трещинно-карстовыми или просто карстовыми называются подземные воды, связанные с горными породами, пустотность которых наряду с трещиноватостью определяется наличием

карстовых пустот различного размера, образующихся в результате растворения минерального скелета горной породы подземными водами. Они характерны для карбонатных, сульфатных и хлоридных пород. Закарстованные породы могут переслаиваться с породами иного состава и образуют в этом случае пластовые трещинно-карстовые водоносные системы или массивы закарстованных пород, выходящих на поверхность. В тектонически активных областях распространены карбонатные массивы с карстово-жильными водами.

Для трещинно-карстовых вод характерна резкая изменчивость степени водоносности по площади и по разрезу, что связано с неравномерной закарстованностью пород. Зоны интенсивной закарстованности проявляются развитием поверхностных форм карста (карстовые воронки, провалы, пещеры) и настоящих подземных рек и озер.

Разгрузка трещинно-карстовых и карстово-жильных вод часто осуществляется в виде мощных источников с крайне неравномерным во времени дебитом и другими показателями режима (минерализация, состав, температура). Такие карстовые источники получили название «включозы» по названию источника Воклюз во Франции, среднегодовой дебит которого $30 \text{ м}^3/\text{с}$, а максимальный около $150 \text{ м}^3/\text{с}$. Еще более мощными включозами являются Люта в Словении (макс. дебит $170 \text{ м}^3/\text{с}$) и Мчишта в Абхазии (макс. дебит $200 \text{ м}^3/\text{с}$). Довольно часто карстовые воды разгружаются в прибрежной зоне в виде субмаринных источников.

Участок земной коры, в пределах которого подземные воды характеризуются сходными условиями формирования и размещения, образует гидрогеологическую структуру. Основными типами гидрогеологических структур являются артезианские бассейны и гидрогеологические массивы.

Артезианский бассейн – это гидрогеологическая структура, расположенная в толщах пологозалегающих слабоизмененных осадочных пород, содержащих пластовые подземные воды и подстилаемых кристаллическими породами, которые образуют ложе бассейна. Они относятся к отрицательным структурам платформ (синеклизы, перикратонные прогибы), предгорным и межгорным прогибам. Соответственно, выделяются платформенные (Днепровско-Донецкий, Московский, Англо-Парижский и др.), предгорные (Предкарпатский, Предкопетдагский и др.) и межгорные (Закарпатский, Ферганский, Паданский и др.) прогибы.

Гидрогеологический массив представляет собой гидрогеологическую структуру, относящуюся к массивным кристаллическим и метаморфическим интенсивно дислоцированным породам. Здесь развиты трещинные и трещинно-жильные подземные воды. Гидрогеологические массивы расположены на щитах платформ (Украинский, Балтийский, Канадский и др.) и к антиклинориям складчатых областей (Центрально-Кавказский, Раховский, Памирский и др.). В пределах гидрогеологических массивов выделяются водоносные зоны трещиноватости различного генезиса (экзогенной, литогенетической, тектонической) и водоносные трещинно-жильные системы, связанные с зонами разломов.

Промежуточными типами гидрогеологических структур являются адартезианские бассейны (приближающиеся к артезианским), сложенные осадочными породами с повышенной степенью литификации и значительной дислоцированностью (Донецкий, Кузнецкий, Минусинский и др.), и гидрогеологические адмассивы (приближающиеся к массивам), сложенные сильно литифицированными и интенсивно дислоцированными осадочными породами (большая часть Складчатых Карпат, значительная часть Большого Кавказа и др.). В этих типах гидрогеологических структур как существуют водоносные зоны трещиноватости и трещинно-жильные системы, так и иногда сохраняются редуцированные пластовые системы.

Специфический характер водоносности свойственен вулканогенным бассейнам, образованным современными или молодыми (N-Q) лавовыми покровами и пирокластическими образованиями, где формируются мощные потоки подземных вод в трещиноватых кавернозных лавах, высокопористых пирокластах и грубообломочном аллювии, переслаивающемся с вулканитами. Здесь развиты также трещинно-жильные системы, связанные с зонами тектонических разломов.

В последние десятилетия XX в. благодаря сверхглубокому бурению и исследованию дна Мирового океана выявлены новые весьма специфические проявления подземных вод. При бурении самой глубокой в мире скважины Кольской сверхглубокой из метаморфических пород нижнего протерозоя и архея, которые при проектировании считались плотными и безводными, в интервале глубин 4,5–9 км неожиданно были отмечены многочисленные и интенсивные водопоявления. В скважину под сверхгидростатическим давлением поступали рассолы с минерализацией $200\text{--}300 \text{ г}/\text{дм}^3$

хлоридного кальциевого, натриевого и натриево-кальциевого состава, содержащие K, Br, B, F, Rb, с газами гелиево-водородного, гелиево-водородно-углекислого состава.

Исследователи пришли к выводу, что выделяющиеся под огромным давлением дегидратационные метаморфогенные воды создают в плотных породах субгоризонтальную трещиноватость типа рассланцованности и заполняют образующиеся полости. Явление получило название гидрогенного разуплотнения пород (Л.В. Боровский, Г.С. Вартанян, Г.В. Куликов, 1984). Наиболее интенсивные водопроявления отмечались на глубине около 7 км. Вызванная этим явлением сейсмическая граница первоначально была принята за границу между гранитным и базальтовым слоями. На глубинах более 9 км частота и интенсивность водопроявлений снизились, однако небольшие водопроявления отмечались вплоть до забоя скважины (около 12,2 км). Таким образом, подземные воды обнаружены на максимальных глубинах, достигнутых современным бурением.

В 1977 г. в районе Галапагосских островов в рифтовой долине Восточно-Тихоокеанского поднятия при обследовании дна с помощью подводного обитаемого аппарата впервые были обнаружены выходы термальных источников, получившие название «черных курильщиков». Позднее такие выходы перегретых металлонесных растворов были выявлены и в других местах в пределах срединноокеанских рифтов, в задуговых рифтах, где проявляется подводный магматизм, на глубинах 3–5 км. На выходах гидротерм образуются своеобразные минеральные образования («каменные трубы»), состоящие главным образом из ангидрита и сульфидов металлов, высотой до 20–100 м, из вершин которых и происходит излияние воды с температурой до 350–400°C. Вода не вскипает из-за высокого давления океанической воды.

Минерализация воды гидротерм близка к океанической (около 35 г/дм³), но состав ее сильно отличается от последней отсутствием сульфатов магния и обогащенностью различными металлами (Fe, Mn, Pb, Zn, Cu и др.). Газовый состав гидротерм представлен H₂S, CO₂, H₂ и CH₄. Исследователи гидротерм полагают, что они образуются в результате затягивания холодной придонной океанической воды в трещинные системы в базальтах, опускания на глубины до 4–5 км, ее разогрева до сверхкритических температур, преобразования состава при взаимодействии с горячими породами, возможного обогащения ювенильными компонентами и восходящей разгрузки на дне океана (иногда и на побережьях – береговые термы). Движение воды в таких циркуляционных системах определяется естественной геотемпературной конвекцией.

На выходах субокеанических гидротерм обнаружены настоящие оазисы жизни, где развиваются эндемические сообщества разнообразных организмов, которые существуют за счет хемосинтезирующих микроорганизмов, получающих энергию путем окисления сероводорода гидротерм. Анализ особенностей субокеанических гидротерм позволил В.А. Терещенко (1994, 2004) позволить прийти к выводу, что изменение интенсивности гидротермальной деятельности на дне океана в ходе геологической истории определяет циклическую смену гидрохимических типов океанической воды в фанерозое, а циркуляция воды в этих системах представляет собой особый термоартезианский круговорот воды на Земле, который не сводится ни к гидрологическому, ни к геологическому круговоротам.

6.5 Процессы подземной гидросферы

Процессы подземной гидросферы характеризуются большим разнообразием проявления. Их условно можно разделить на два основных типа: экзогенные (оползни, карст, суффозия, многолетняя мерзлота, химическое выветривание, диагенез и др.) и эндогенные, включающие гидротермальную деятельность, работу гейзеров и грязевых вулканов. Частично они рассматривались в динамической геологии; сведения о них будут также затронуты в инженерной и экологической геологии. Поэтому здесь лишь напомним о главных из них.

Формирование оползней – распространенное в природе явление. В отличие от обвалов (быстрое обрушение крупных глыб под действием силы тяжести или гравитации) оползень – результат работы подземных вод. Это скользящее смещение по склону насыщенных водой пород почти без нарушения их сплошности. Наблюдение над ними позволяет устанавливать, что передняя часть оползшего участка приподнята, а сзади можно фиксировать плоскости отрыва или поверхность скольжения. Их формирование создает своеобразный оползневый рельеф.

Водопроницаемых и водонепроницаемых пород может выделяться еще одна их группа – растворимые породы. Сюда относятся известняки, доломиты, гипсы, хлоридные и другие соли. Их растворение рождает еще один процесс, получивший название карст. Перемещаясь по трещинам и пустотам таких пород, подземные воды частично растворяют и вымывают их, вырабатывают в них размытые ниши, пустоты, пещеры. Кроме таких подземных проявлений известна и поверхностная

форма карста – различные провалы, изъеденные водой породы (карры), воронки, колодцы, пропасти, поноры. В результате выпадения в осадок растворенной в воде карбонатной породы в пещерах формируются своеобразные колонные сосульки и столбы, называемые сталактитами (растут сверху) и сталагмитами (снизу).

Закарстованные площади очень ненадежны для возведения различных инженерных сооружений, построек. Известны случаи провалов зданий, железнодорожных мостов, участков поверхности на линиях нефтегазопроводов и электропередач. Они очень затрудняют земледелие, так как подземные воды быстро уходят, а поверхность осложняется провалами, просадками и воронками. Карст затрудняет разработку карбонатных пород. Обычно этот процесс известен по результатам формирования живописных пещер, охотно посещаемых туристами. Изучение данного явления оформляется в научное направление – спелеологию.

В зонах многолетнего промерзания подземная вода может встречаться в форме кристаллического льда. Само это явление называется многолетней мерзлотой. Оно широко распространено в приполярных районах Евразии и Северной Америки, где среднегодовая температура воздуха ниже 0°C, и сохраняется сотни и тысячи лет (одно из ранее употреблявшихся его названий – вечная мерзлота). Например, в России многолетняя мерзлота занимает более половины ее площади (10 из 17 млн км²). Мощность мерзлого слоя достигает в Якутии 400–600 м; иногда называются показатели в 1500 м. Причем некоторые горные породы могут здесь содержать до 90 % льда по объему. Территория ее распространения называется еще областью подземного оледенения. Предполагается, что нынешняя многолетняя мерзлота сформировалась в четвертичный период, во время последнего его оледенения.

На площадях развития многолетней мерзлоты проявлены своеобразные процессы, в частности солифлюкция (сползание вниз по склону или истечение оттаивающей почвы в летнее время) и пучение грунтов, происходящие в результате образования гидролакколитов – подземных тел грибообразной формы из льда или наоборот, существования протаявших участков – таликов. Само явление протаивания называется термокарстом. обстоятельное описание многолетней мерзлоты выполняет физическая география, которая отмечает, что она сильно затрудняет хозяйственное освоение занятых ею территорий. Геологию же это явление интересует с точки зрения инженерно-геологической характеристики соответствующих площадей, времени образования.

Не менее разнообразны глубинные процессы недр, проявление которых обусловлено подземными водами. К числу наиболее распространенного следует относить диагенез (лат. – «второе рождение»), или процессы превращения осадков в горные породы. При этом происходит не только уплотнение погружающегося на глубину осадка, но и частичное удаление из него первоначально содержащейся воды, а также процесс диагенетического минералообразования. В результате его проявления формируются такие минералы как глауконит, доломит, цеолиты, фосфориты, некоторые сульфиды. Процессы эти изучаются обычно не гидрогеологией, а литологией или петрологией. Сохранившаяся в горных породах первоначальная вода бывших бассейнов получила название седиментогенной или седиментационной. Процессом, в определенном отношении противоположным диагенезу, является гидратация, или минералообразование, сопровождающееся поглощением воды. Примером такого случая является превращение ангидрита в гипс, при котором сульфат кальция прибавляет две молекулы воды. Гидратация характерна для экзогенных процессов, регрессивного метаморфизма.

Интересными являются гидротермальные процессы, связанные с перемещением восходящих горячих растворов (гидротерм), которые сопровождаются накоплением переносимого ими минерального вещества. Нагретые и перегретые подземные воды образуются в этом случае как за счет выделения водяных паров из магмы, так и в результате нагревания проникающих с поверхности подземных вод. Роль этого процесса особенно важна в формировании обширного класса рудных гидротермальных месторождений, а также весьма разнообразных красочных минералов.

Повышение с глубиной температуры недр обуславливает возрастание температуры подземных вод. В вулканических областях иногда образуются

горячие источники с перегретыми водами, которые периодически выбрасывают ее вместе с паром. Высота выброса кипятка достигает иногда нескольких десятков метров, а пара – до 500 м. Такие источники выбрасываемой горячей воды (кипятка) называют гейзерами. Название это возникло от первоначально действовавшего источника Гейзер в Исландии; затем это собственное название перешло на подобные выбросы вообще. Кроме Исландии гейзеры распространены в Северной Америке (Йеллоустонский национальный парк), Новой Зеландии, на Камчатке, где даже имеется Долина гейзеров. Горячие подземные воды, в том числе извлеченные с не очень больших

глубин, могут быть использованы для обогрева помещений и теплиц. Этот вид энергии ввиду стабильности термального состояния недр, удобства получения и экологической чистоты рассматривается как один из наиболее выгодных и перспективных.

Кроме поверхностных известны также подводные гидротермы, когда нагретые минерализованные воды выходят на дне современных водоемов. В ряде случаев они связаны с поствулканической деятельностью. Предполагается широкое развитие их в рифтовых зонах океанов. Одной из разновидностей подобных гидротерм являются знаменитые «Черные курильщики», выявленные в 1977 г. на дне Тихого океана, которые интересны как место формирования своеобразного экологического биокомплекса. Выход горячих, сильно минерализованных вод известен на дне Красного моря. Его связывают с процессом продолжающегося образования рифта.

Внешне сходны с вулканизмом процессы формирования грязевых вулканов. Это участки, где на поверхность из глубоких недр поступает разжиженная глина в сопровождении горючего газа, обычно метана. Грязь образует конусы и потоки, внешне напоминающие вулканические; высота их может составлять от 1–2 до 400 м. Для проявления этого процесса необходимо совместное нахождение размываемой глины и нефтегазовыделений. Выбросы грязи происходят здесь с определенной периодичностью. Наиболее выразительные грязевые вулканы формируются на Апшеронском, Таманском и Керченском полуостровах и на Сахалине. От грязевых вулканов следует отличать формирование травертинов (известняк химического происхождения, образующийся в местах выхода на поверхность глубинных гидрокарбонатных вод) и гейзеритов – пористых кремнистых пород, выпадающих из воды гейзеров.

Химическое выветривание, в отличие от физического, обязательно происходит при участии воды. Это очень многообразные процессы. В результате одного из них полевые шпаты гранитов разрушаются, превращаясь в каолин. Еще одним случаем такого выветривания является образование латеритов (богатые глиноземом железистые породы кирпично-красного цвета), а также бокситов – основных алюминиевых руд. Все эти процессы наиболее активно идут в условиях жаркого влажного климата. Зона выветренных пород образует кору выветривания, мощность которой местами может достигать 100–200 м. Именно таким образом формировались месторождения первичных каолинов на Украинском щите, бокситов и латеритов в тропических странах. В результате химического выветривания верхняя зона разрушающихся пород в наших районах окрашена в бурые цвета (процессы ожелезнения или лимонитизации).

6.6 Методы изучения подземных вод по площади

Данное направление гидрогеологии включает гидрогеологическое районирование, съемку (картирование), поиски и разведку подземных вод, полевые гидрогеологические исследования, другие виды работ, выявляющие особенности их размещения на площади.

Районирование подразумевает деление изучаемой территории на структуры и районы, которые отличаются условиями формирования (питания, накопления, разгрузки), залегания, распространения или особенностями использования подземных вод. Основными единицами такого районирования являются артезианский бассейн и гидрогеологический массив. Кроме того, оно предполагает выделение площадных единиц, отличающихся по климатическим условиям, рельефу, составу водовмещающих пород и другим показателям. В зависимости от целей таких исследований выделяют общее и специальное районирование.

Гидрогеологическая съемка включает комплекс полевых исследований

1) наблюдений на определенной картируемой территории, установление общих условий распространения подземных вод, сопровождаемое составлением гидрогеологических карт и разрезов, выявлением закономерностей распределения и распространения водоносных толщ и разного типа вод, их качества и ресурсов в связи с геологическим строением, геоморфологическими, гидрологическими, климатическими и другими факторами. Итогом такой съемки становится составление гидрогеологической карты, содержание которой определяется заданным масштабом исследований – региональным, средне- или крупномасштабным, детальным.

На такой карте показываются условия распространения и залегания подземных вод в геолого-тектонических структурах, их признаки и свойства, химическая и гидродинамическая характеристика. Карта сопровождается объяснительной запиской (отчетом) и рядом приложений. Среди них – гидрогеологический профиль, или графическое изображение в вертикальном разрезе геолого-гидрогеологической структуры с нанесением водоносных

2) водоупорных горизонтов, характеристикой состава и минерализации подземных вод, свободной поверхности грунтовых и артезианских вод, уровней воды в скважинах и других

выработках. Гидрогеологический разрез показывает водоносные породы, свободные поверхности грунтовых вод и напорные поверхности артезианских, уровни воды в скважинах, колодцах и выработках, другие данные.

Непременным элементом полевых гидрогеологических исследований, осуществляемых в процессе проведения съемки и картосоставительских работ, а также специальных наблюдений, является бурение гидрогеологических скважин. Они могут иметь разное назначение: изучение строения водоносной структуры, количественная оценка водоносных горизонтов, определение качества вод и др. Такие скважины подготавливаются специальным образом: производится изоляция водоносных горизонтов, оборудуются фильтры, водоподъемное обустройство. Эта подготовка наблюдения документируется. Исследовательские работы в скважинах, а также колодцах и шурфах включают опытную откачку, налив и нагнетание (налив под определенным давлением). Кроме того, они сопровождаются специальными геофизическими работами – термометрическими, определением объема поглощения, резистивиметрическими (измерение удельного электрического сопротивления жидкости). Опорная гидрогеологическая наблюдательная сеть размещается с учетом физико-географических условий отдельных районов и потребностей водоснабжения. Наконец, именно скважины становятся наиболее приемлемым способом опробования подземных вод, водоносных горизонтов.

Поиски и разведка подземных вод являются прикладным направлением гидрогеологии, целью которого становится выявление и оценка запасов и качества подземных вод. Обычно такие операции осуществляются в процессе проведения специальных разведочных и опытных работ; при проведении гидрогеологической съемки могут и должны устанавливаться лишь ресурсы. Запасы подземных вод предполагают оценку количества гравитационной воды в водоносных отложениях, пласте, месторождении, бассейне, а также в порах, пустотах, трещинах определенных площадей. Различают следующие запасы: геологические (объем вод, участвующий в подземном стоке), динамические (постоянно возобновляемые, равные естественному расходу потока подземных вод; его синонимом являются активные, возобновляемые запасы), статические (их общий объем в водоносном горизонте или бассейне), общие (суммарные статистические и динамические, отвечающие понятию «естественные ресурсы»), эксплуатационные (то их количество, которое может быть получено при рациональной разработке в течение расчетного срока эксплуатации), регулировочные и забалансовые. Эксплуатационные запасы подземных вод разделяют на 4 категории: А, В, С₁ и С₂ (аналогично другим полезным ископаемым).

Определение запасов подземных вод и возможность использования их для разработки позволяет формулировать представления о месторождении подземных вод. Таким термином называют часть возможной системы (подземной гидросферы), в пределах которой есть благоприятные условия для отбора вод в количествах, рентабельных для целевого использования. В пределах месторождения могут выделяться один или несколько продуктивных пластов (горизонтов), являющихся объектом эксплуатации. Главная особенность таких месторождений – возобновляемость их запасов. По видам сырья различают месторождения пресных (питьевых, промышленных), термальных, лечебных минеральных и др. подземных вод.

Кроме таких общих методов изучения и оценки запасов подземных вод организуют и специальное их изучение. Оно включает гидрогеохимические наблюдения и исследования, гидродинамические и гидроэкологические, составление геофильтрационных и других карт. Такие работы либо входят в состав гидрогеологической съемки, либо проводятся путем организации стационарных наблюдательных пунктов, фиксирующих ежегодные или многолетние наблюдения и замеры. Изучение режима подземных вод включает размещение сети наблюдательных пунктов и объектов, которая организуется по специальному принципу – разработка системы наблюдений, определенное оборудование, обработка этих материалов. По этим данным составляется прогноз естественного режима подземных вод.

Практическая часть

Задание 1

Тема: Водоносные горизонты

1. Составьте схематический геологический разрез. Покажите на разрезе уровень, глубину залегания грунтовых вод, области питания, распространения и разгрузки водоносного горизонта, зоны аэрации и насыщения, мощность водоносного пласта, кровлю водоупора.

2. В чем принципиальное отличие водоносных слоев от водоупорных? Какие из перечисленных литологических разностей – мелкозернистые пески, глинистые сланцы, известняки, галечники, глины, супеси, пылеватые пески, суглинки – могут быть водоупором? Объясните почему. Заполните таблицу.

Водоупорные породы	Водоносные породы

3. При бурении скважины на пойме с абсолютной отметкой устья 19,3 м встречены следующие слои пород: от 0-0,5 м почва; 0,5-8,0 м галечник, ниже – глины. Уровень воды встречен на глубине 4,5 м. Начертите разрез и определите:

3.1. Тип водоносного горизонта по условиям залегания в геологическом разрезе.

3.2. Мощность водоносного горизонта и зоны аэрации, величину капиллярного поднятия.

3.3. Абсолютные отметки кровли водоупора и статического уровня воды.

Задание 2

Тема: Построение карты гидроизогипс и гидроизопьез

1. Построить карту гидроизогипс и гидроизопьез с сечением линий через 2 м.

2. Определить основные направления движения подземных вод и вычислить гидравлические градиенты в 4-5 точках.

3. Построить разрез по разведочной линии I-I.

4. Выделить участок самоизливающихся подземных вод.

5. Дать дополнительные условные обозначения к карте гидроизогипс и гидроизопьез.

6. Описать гидрогеологические условия участка.

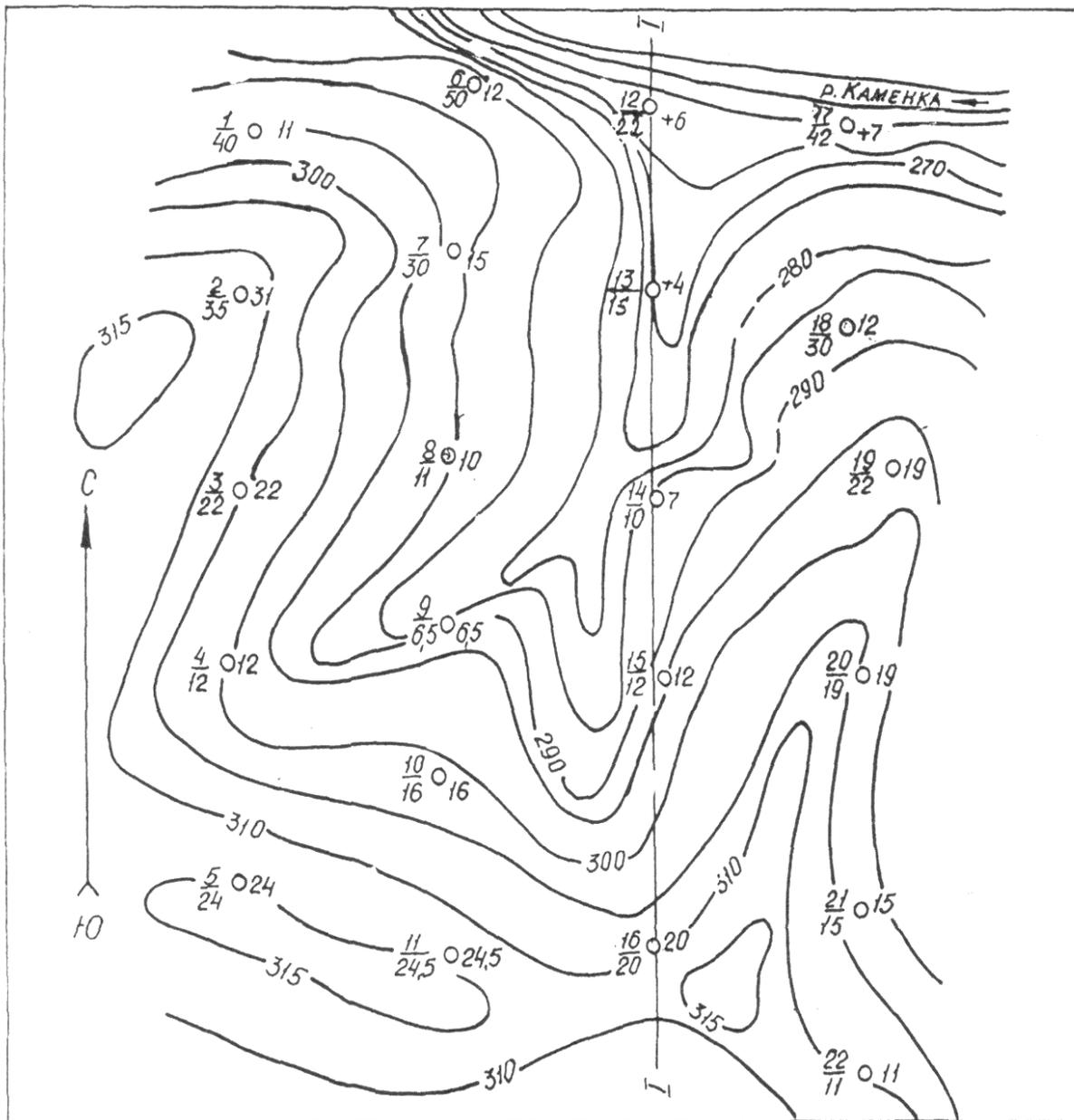
Методика построения карт гидроизогипс и гидроизопьез.

Карта гидроизогипс. Для выявления характера поверхности (зеркала) грунтовых вод составляют карты гидроизогипс. Гидроизогипсами называют линии, соединяющие точки с одинаковыми абсолютными или относительными отметками уровней грунтовых вод. Эти линии аналогичны горизонталям рельефа местности и подобно им отражают рельеф зеркала вод. Форма поверхности грунтовых вод сложная и зависит от многих факторов: состава водовмещающих пород и проницаемости, рельефа, условий залегания и дренирования. Для построения карты гидроизогипс замеряют уровни грунтовых вод в скважинах, расположенных обычно по сетке. Замеры уровней должны быть единовременными. Абсолютные отметки уровня подземных вод (h_B) в скважинах определяют по формуле:

$$h_B = h_{п.з.} - h, \quad (6.4)$$

где $h_{п.з.}$ – абсолютная отметка поверхности земли; h – глубина залегания подземных вод от поверхности земли, м.

КАРТА ГИДРОИЗОГИПС И ГИДРОИЗОПЬЕЗ



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

$\frac{1}{40} \circ 11$

Слева: в числителе - номер скважины; в знаменателе - глубина встречи водоносного горизонта в метрах.

Справа: глубина установившегося уровня подземных вод в метрах на 10.Х.86г

Геологические разрезы скважин

по линии I-I

Скв.12 0-22м - глина, 22-54м - песок, 54-60м - глина

Скв.13 0-15м - глина, 15-30м - песок, 30-54м - глина

Скв.14 0-10м - глина, 10-44м - песок, 44-46м - глина

Скв.15 0-5м - глина, 5-36м - песок, 36-40м - глина

Скв.16 0-2м - глина, 2-36м - песок, 36-40м - глина

Масштаб: горизонтальный 1:10000
вертикальный 1:1000

Рис.1 Карта гидроизогипс и гидроизопьез

Полученные абсолютные отметки надписывают над каждой скважиной и затем методом интерполяции строят гидроизогипсы. Сечение гидроизогипс (частоту их заложения) выбирают в зависимости от масштаба карты и густоты расположения точек замера от 0,5 до 10 м, чаще 0,5, 1,0 и 2,0 м.

С помощью карты гидроизогипс (совмещенной с топоосновой) можно определить направление и скорость движения грунтового потока в любой точке. Для определения направления проводят перпендикуляр к гидроизогипсе в данной точке. Грунтовый поток движется по нормали в сторону меньших отметок. Для определения уклона потока грунтовых вод разность отметок двух смежных гидроизогипс делят на расстояние между ними (по нормали) в соответствии с масштабом карты. Чем выше степень сгущения гидроизогипс, тем при прочих равных условиях больше уклон поверхности потока подземных вод, а, следовательно, выше и скорость движения. Используя положение гидроизогипс, в любой точке карты можно определить глубину залегания грунтовых вод (по разности отметок горизонталей и гидроизогипс).

Карта гидроизопьез. Линии, соединяющие точки с одинаковыми отметками пьезометрического уровня, называют гидроизопьезами (или пьезоизогипсами). Карта гидроизопьез – совокупность таких линий и строится она аналогично карте гидроизогипс. С помощью карты гидроизопьез решают ряд практических задач, связанных с использованием артезианских вод для водоснабжения, с организацией защиты от них при вскрытии строительными котлованами кровли напорного пласта и т.д. По карте гидроизопьез изучают условия формирования потоков артезианских вод, определяют направление их движения (по нормали к гидроизопьезам в сторону меньших отметок), выделяют участки возможного самоизлива (при совмещении гидроизопьез с горизонталями), устанавливают гидравлическую связь напорных вод с реками.

Анализ карт гидроизогипс ведется в следующей последовательности:

- 1) кратко описывают геоморфологические особенности, условия залегания, литологический состав и мощность водосодержащих пород, положение и характер залегания водоупора;
- 2) характеризуют мощность и строение зоны аэрации с указанием участков наиболее благоприятных для инфильтрации и испарения;
- 3) определяют относительное изменение фильтрационных свойств водосодержащих пород, их возможное изменение по площади на основе анализа изменения градиента потока;
- 4) анализируют глубины залегания грунтовых вод и их изменение по площади;
- 5) указывают главные направления движения грунтовых вод и возможные формы связи поверхностных и подземных вод;
- 6) описывают форму зеркала грунтовых вод, изменение градиента потока;
- 7) выделяют области местного напора, участки межпластовых безнапорных вод;
- 8) описывают возможные условия и виды питания грунтовых вод, выделяют зоны питания;
- 9) описывают виды и характер дренирования грунтовых вод, выделяют область разгрузки;
- 10) оценивают естественные ресурсы потока, модуль подземного стока;
- 11) указывают факторы, защищающие грунтовые воды от загрязнения.

Например, водоносный горизонт сложен разнозернистыми песками и супесями. Водоупором являются плотные глины, залегающие горизонтально на отметке 115 м. Мощность водоносного горизонта, изменяется от 4,9 до 14,8 м. Зона аэрации сложена песками, супесями и суглинками мощность от 0 до 6,5 м. Наиболее благоприятная область для инфильтрации атмосферных осадков на водоразделах, где зона аэрации сложена песками, хотя питание идет по всей площади распространения грунтовых вод.

Поверхность грунтовых вод сложная, слабо повторяет рельеф поверхности земли. Подземный поток направлен к реке и болоту. Уклон потока изменяется значительно на правобережье. Резко возрастает в районе скважины 9-35 до 0,018 в связи с изменением литологического состава водоносных пород от песков до суглинков и супесей и уменьшением мощности горизонта. Река и болото – области стока. Они дренируют грунтовые воды. На участках близ реки и болота, где глубина залегания грунтовых вод менее 2 м, возможно испарение с их поверхности. В оврагах, где грунтовые воды вскрыты поверхностью земли, выходят источники эрозионного типа.

Загрязнение грунтовых вод в первую очередь может происходить там, где зона аэрации сложена песками и имеет небольшую мощность. Если воды реки загрязнены, то в паводок эти загрязненные воды могут попадать в грунтовые воды.

Гидростатический напор (пьезометрический уровень) – это основная сила в зоне полного насыщения. Действие этой силы оценивается градиентом напора I , который создается разностью напоров ΔH , действующих на принятой длине участка фильтрации L .

$$I = (H_2 - H_1) / L = \Delta H / L \quad (6.5)$$

Контрольные вопросы

1. Назовите объект изучения гидрогеологии.
2. Назовите исключительные свойства воды.
3. Каково значение подземных вод в жизни человека?
4. Назовите основные разделы гидрогеологии.
5. Назовите ученых, внесших вклад в развитие гидрогеологии.
6. Что такое водоносный горизонт?
7. Назовите основные элементы водоносного горизонта.
8. Сравните напорные и безнапорные водоносные горизонты.
9. Какие результаты климатического круговорота воды Вам кажутся наиболее важными?
10. Назовите основные факторы, определяющие количественное соотношение подземного и поверхностного тока.
11. От чего зависит величина пористости в горной породе?
12. Назовите основные виды воды в горной породе.
13. Назовите основные водные свойства горной породы.
14. Каким образом может передвигаться вода в виде льда или и пара?

Список литературы

1. Ершов В. В., Новиков А.А., Попова Г.Б. Основы геологии. – М.: Недра, 1994. – 355 с.
2. Короновский, Н.В. Геология: учеб. пособие для вузов / Н.В. Короновский, Н.А. Ясаманов. – М.: Академия, 2003. – 448 с.
3. Кравцов, А.И. Геология: учеб. пособие для вузов / А.И. Кравцов, А.П. Бакалдина. – М.: Недра, 1979. – 342 с.
4. Малахов, А.А. Практикум по геологии / А.А. Малахов, Ф.А. Асинкритов, П.П. Желобов и др. – М.: Высшая школа, 1966. Раздел для чтения: с. 130–162.
5. Общая геология: Метод. указ. для студентов дневного и заочного отделений направления «Геология». Изд-е 3-е, перераб. и доп. / Перм. ун-т; Сост. Р.В. Яценко, И.М. Тюрина, С.М. Блинов, И.И. Минькевич, И.В. Щукова. – Пермь, 2013. –107 с.
6. Определитель минералов и горных пород: Метод. указания к лабораторным работам для студентов специальностей по направлениям 650600 «Горное дело», 650100 «Прикладная геология» / Сост. С.И. Леонтьев, Е.А. Звягина, Е.К. Коляго. – 2-е изд., перераб. и доп., ГАЦМиЗ. – Красноярск, 2002. – 56 с.
7. Основы геологии: Учеб. для вузов 1 Под ред. В.А. Ермолова. – 2-е изд., стер. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2008. – 598 с.: ил. (ГЕОЛОГИЯ).
8. Павлинов, В.Н. Пособие к лабораторным занятиям по общей геологии: учеб. пособие для вузов / В.Н. Павлинов, А.Е. Михайлов, Д.С. Кизельвальтер. – М.: – Недра, 1988. – 149 с.
9. Словарь терминов и определений по общей геологии: учеб. пособие для студ. днев. и заоч. отд. направление «Геология» / сост. И.И. Минькевич, Д.А. Боков; Перм. гос. ун-т, – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Пермь, 2009. – 160 с.
10. Инструкция по составлению и подготовке к изданию Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:200 000. – М.: изд. Роскомнедра, 1995. – 244 с.
11. Казанский Ю.П., Ван А.В., Кашик С.А. Осадочные породы. - Новосибирск: Наука, 1994. 6. Маракушев А.А. Петрография. – М.: Изд-во МГУ, 1993. – 566 с.
12. Справочник по геологии / В.О. Соловьев, С.В. Кривуля, В.А. Терещенко и др.: Колорит, 2013. – 328 с.
13. Основы гидрогеологии и инженерной геологии: методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Основы гидрогеологии и инженерной геологии» для студентов III курса, обучающихся по специальности 130301 «Геологическая съемка, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых» направления 130100 «Геология и разведка полезных ископаемых/ сост. А.В. Леонова. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 46 с.
14. Тектоническое районирование континентов мира. Лабораторные работы: метод. указания / Л. П. Бакулина. – Ухта: УГТУ, 2015. – 22 с.
15. Практическое руководство по общей геологии: учеб. пособие для студ. вузов/ А.И. Гушин, М.А. Романовская, А.Н. Стафеев, В.Г. Талицкий; под ред. Н.В. Короновского. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 160 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. ОБЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ГЕОЛОГИИ	4
1.1 История развития геологических знаний	6
1.2 Этап эмбриональной геологии (XVI – первая половина XVIII ст.)	8
1.3 Этап возникновения геологии как отрасли естествознания	9
1.4 Этап становления и начала дифференциации геологии (XIX ст.)	11
1.5 Этап оформления современной геологии (первая половина XX ст.)	13
1.6 Современный (новейший) этап развития геологии	15
2. МИНЕРАЛЫ	18
2.1 Морфологические особенности минералов и их агрегатов	18
2.2 Физические свойства минералов	19
2.3 Классификация и характеристика минералов	21
2.4 Практическая часть	34
Тема: Определение физических свойств минералов	34
2.5 Методика макроскопического определения минералов	34
Контрольные вопросы по разделу	37
3. ГОРНЫЕ ПОРОДЫ	38
3.1 Магматические горные породы	38
3.2 ОСАДОЧНЫЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ	43
3.3 МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ	45
3.4 ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	47
Контрольные вопросы по разделу	48
4. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ КАРТЫ И РАЗРЕЗЫ	49
4.1 Геохронологическая шкала	49
4.2 УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ НА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ КАРТАХ	54
4.3 Стратиграфия	56
4.4 Горный компас	62
4.4 ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	68
ТЕМА: ПОСТРОЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ КАРТ И РАЗРЕЗОВ	68
Контрольные вопросы по разделу	72
5. ГЕОТЕКТОНИКА	73
5.1 Литосферные плиты и характер их взаимодействия	73
5.2 Основные структурные элементы материковой земной коры	75
5.3 Океаны, их строение и происхождение	76
5.5 ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	77
5.6 Границы платформ	77
Контрольные вопросы по разделу	81
6. ГИДРОГЕОЛОГИЯ	82
6.1. Типы подземных вод и условия формирования их в литосфере	83
6.2 Динамика подземных вод	84
6.3 Физические свойства и состав подземных вод, их классификация	87
6.4 Водоносные комплексы и структуры	89
6.5 Процессы подземной гидросферы	91
6.6 Методы изучения подземных вод по площади	93
Практическая часть	95
Список литературы	99

Учебное издание

**Ондар Эртине-Даш Васильевич
Чооду Остап Андреевич**

ГЕОЛОГИЯ

Учебно-методическое пособие

Редактор *А.Р. Норбу*
Дизайн обложки *К.К. Сарыглар*

Сдано в набор: 26.10.2018
Подписано в печать: 16.11.2018
Формат бумаги 60×84 ¹/₈. Бумага офсетная
Физ. печ.л. 12,6. Усл. печ.л. 11,8.
Заказ № 1449. Тираж 50 экз.

667000, г. Кызыл, Ленина, 36
Тувинский государственный университет
Издательство ТувГУ