

**В.О. Соловьев, С.В. Кривуля,
В.А. Терещенко, И.М. Фык, В.Г. Щербина**

СПРАВОЧНИК ПО ГЕОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ХАРЬКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»
ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. В.Н. КАРАЗИНА
УКРАИНСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПРИРОДНЫХ ГАЗОВ (УкрНИИГаз)

СПРАВОЧНИК ПО ГЕОЛОГИИ

Харьков
«Колорит»
2013

УДК 55(03)
ББК 26.03я2
С74

Рекомендовано к изданию:

Ученым советом факультета «Технологии органических веществ» НТУ «ХПИ»
(Протокол № 1 от 14.09.2012)

Ученым советом геолого-географического факультета ХНУ им. В.Н. Каразина
(Протокол № 3 от 19.10.2012)

Работа издана при содействии специалистов ООО «НВП „Проект-Нефтегаз”»

Авторы: В.О. Соловьев, С.В. Кривуля, В.А. Терещенко, И.М. Фык, В.Г. Щербина

Рецензенты:

А.И. Лурье – профессор ХНУ им. В.Н. Каразина, зав. отделом УкрНИИГаз,
доктор геол.-минерал. наук

В.А. Соколов – директор УкрНИИТИЗ, канд. геол. наук

Наводяться короткі відомості з усіх основних розділів цього напрямку наук про Землю – динамічної, структурної, історичної, регіональної, інженерної, екологічної геології, а також щодо речовини земної кори, геотектоніки, гідрогеології, корисних копалин, геології нафти і газу. Розглядається історія розвитку геологічних наук, основні їх проблеми (періодизація геологічної історії, хронологія тектонічних рухів, ритми в розвитку земної кори, уявлення про еволюцію і катастрофи).

Розрахований на спеціалістів, викладачів, студентів. Окремі розділи довідника складено за схемами навчальних курсів, що дозволяє використовувати його в навчальному процесі.

Справочник по геологии / В.О. Соловьев, С.В. Кривуля, В.А. Терещенко и др. –
С74 X. : Колорит, 2013. – 328 с.
ISBN 978-966-8536-65-6

Приводятся краткие сведения по всем основным разделам данного направления наук о Земле – динамической, структурной, исторической, региональной, инженерной, экологической геологии, а также о веществе земной коры, геотектонике, гидрогеологии, полезных ископаемых, геологии нефти и газа. Рассматривается история развития геологических наук, основные их проблемы (периодизация геологической истории, хронология тектонических движений, ритмы в развитии земной коры, представления об эволюции и катастрофах).

Рассчитан на специалистов, преподавателей, студентов. Отдельные разделы справочника составлены по схемам учебных курсов вузов, что позволяет использовать его в учебном процессе.

УДК55(03)
ББК 26.03я2

ISBN 978-966-8536-65-6

© Соловьев В.О., 2013
© Изд-во «Колорит», 2013

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ОБЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ГЕОЛОГИИ	5
2. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ И НАУК	9
3. ЗЕМЛЯ В МИРОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ	27
4. ВЕЩЕСТВО ЗЕМНОЙ КОРЫ	36
5. ДИНАМИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ	45
6. СТРУКТУРНАЯ ГЕОЛОГИЯ	53
7. ГЕОТЕКТНИКА	59
8. ИСТОРИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ	89
9. РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ	131
10. ГЕОЛОГИЯ УКРАИНЫ	148
11. ГИДРОГЕОЛОГИЯ	160
12. ГЕОМОРФОЛОГИЯ	187
13. ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ	197
14. ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ	210
15. ГЕОЛОГИЯ НЕФТИ И ГАЗА	226
16. ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ	257
17. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ	275
18. ПРОБЛЕМЫ И НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ГЕОЛОГИИ	297
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	316
ЛИТЕРАТУРА	317

ВВЕДЕНИЕ

Геология представляет собой крупное направление естествознания, один из разделов наук о Земле, включающий до сотни разных самостоятельных наук и учений. Около двух десятков вузов в Украине (университеты, техникумы, училища, колледжи) готовят кадры этого профиля или связанных с ним специалистов горного и нефтегазового дела, угольной промышленности, а также строительства, геоэкологии. Еще больше вузов с такими же специальностями действуют в России. При всем обилии учебников и словарей по общей геологии и отдельным ее направлениям (структурной, исторической, региональной, инженерной геологии, геотектонике, гидрогеологии, палеонтологии и др.), изданных в течение последних десятилетий, единой справочной сводки, где содержались бы краткие сведения обо всех основных ее разделах, науках и учениях, — нет. Кроме того, содержащаяся в них информация требует определенного обновления, дополнения или корректировки.

Справочник рассчитан на специалистов, преподавателей и студентов вузов. Вместе с тем геологические знания в определенном объеме необходимы также учителям и специалистам в области географии, биологии, экологии, которые несут такие сведения в школы или разрабатывают вопросы использования и охраны недр. Именно для этого в учебных программах соответствующих вузов предусмотрены специальные курсы, по которым практически отсутствует учебная литература. Как факультатив геология изучается в отдельных школах, для чего была даже предусмотрена соответствующая программа министерства. В системе Малой Академии наук (МАН) при ее историко-географическом отделении действует секция геологии, в которой занимается большое количество школьников.

Все это делает очевидной необходимость создания своеобразной сводки, краткого справочника, который включал бы сведения обо всех основных направлениях геологии, а также связанных с ней данных о Вселенной, основах экологической геологии, истории формирования этой науки, проблемах и новых направлениях развития. Отдельные разделы справочника могут быть использованы как основа специальных самостоятельных курсов в тех вузах, где они предусмотрены. При его составлении авторами использован опыт почти трех последних десятилетий преподавания соответствующих курсов на геолого-географическом факультете Харьковско-го национального университета им. В.Н. Каразина, а также в других вузах, отдельных школах, в научно-исследовательских институтах и геологических экспедициях.

Справочник представляет собой коллективную работу. Руководителем проекта, редактором и автором основной его части является В.О. Соловьев. В процессе работы над справочником мы имели возможность воспользоваться консультациями, получить другую помощь со стороны А.И. Лурье, В.А. Пересадько, М.М. Путятин, В.А. Соколова, Г.Г. Стрижельчика, А.О. Яковлева и др., за что выражаем им свою благодарность.

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 вызывали 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 материи, океаны, крупные тектонические структуры (платформы, складчатые области), страны. В наших условиях предметом активного изучения и большим самостоятельным разделом этого направления становится геология Украины.

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, радиогеохронологические (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.

2. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ И НАУК

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 известных каменные 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 Брами,

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.

Естествознание и геологические представления в средние века

С падением Древней Греции и Древнего Рима, ликвидацией античной науки в Центральной Европе наступил этап, называемый средневековьем. Это время безраздельного утверждения христианства и библейских догм, которые предусматривали неизменность мира, существование Всемирного потопа, непогрешимость создателя. Общее изучение природы (натурфилософские исследования античности) сменяются сугубо прикладной деятельностью — работой горных промыслов, добычей строительного камня для феодальных замков и лабораторными опытами алхимиков, пытавшихся найти «философский камень», который мог бы превращать неблагородные металлы в благородные. Натурфилософские исследования и влияние классической науки ощущается лишь на Востоке, что связано с деятельностью таких личностей XI—XIII вв., как Авиценна, аль-Бируни, Насиреддин. Кроме преимущественно минералогических исследований, увязываемых с медициной, они высказывали и ряд предположений о процессах неживой природы. Так, таджикский ученый Авиценна (Ибн Сина, ок. 980—1037 гг.) образование гор связывал с землетрясениями и разливом текущих вод. Превращение рыхлых осадков в твердые породы происходит под влиянием свойственной природе «пластической силы». Наличие окаменелостей он объяснял существованием здесь в прошлом моря. Мир, по его мнению, также вечен, как бог, и за длительный период истории Земли суша и море неоднократно менялись местами.

Узбекский (Хорезмский) ученый аль-Бируни в главной своей работе «Собрание сведений о познании драгоценных минералов» (1048) дал описание около 100 их видов и для некоторых из них определил удельный вес. Он занимался вопросами совместного нахождения горных пород с полезными минералами и рудами, объяснял причину действия артезианских источников. Омар Аалем (X ст.) в сочинении «Отступление моря» сравнил географические карты Каспийского моря разных эпох и по этим данным пришел к выводу о разрастании суши. Азербайджанский математик-астроном Туш (XIII ст.) в своем труде «Учение о минералах» привел новые сведения о некоторых из них.

Вторая половина рассматриваемого этапа стала в Европе временем создания первых учебных заведений — средневековых университетов в Италии, Франции, Испании. Под влиянием Аристотеля и арабов написана книга Ристоро д'Ареццо «Образование мира» (середина XIII ст.), где основную причину горообразования он объяснял влиянием космоса,

а второстепенную — действием текущей воды. Он правильно истолковал наличие окаменелостей на вершинах гор, но привлекал для объяснения этого явления потоп. Близкими этим являются взгляды Данте Алигьери, который в трактате «Вода и Земля» (1320) указал, что именно космос выполнил волю бога «да будет суша».

Одной из крупнейших фигур средневековья был Альберт Великий (Большедт), который полагал, что горы могут возникнуть либо под действием «подземных ветров» (землетрясений), либо в результате разрушения морскими водами. Он был первым, кто прибег в геологии к эксперименту: вдвывая в огонь пар, он наблюдал разбрасывание угля и золы. Окаменелости он связывал с «формирующей силой» Земли, хотя и допускал их первичную связь с организмами. Аналогичные идеи по некоторым из этих вопросов излагал впоследствии Конрад фон Мегенберг в «Книге природы» (1349), где, обобщив идеи о землетрясениях и извержениях вулканов, пришел к выводу, что они происходят от движения и столкновения камней внутри Земли под действием испарений.

Таким образом, геологии как науки и даже систематизированных геологических знаний в средние века еще не было. Представлений о «геологическом прошлом» не существовало, так как эти идеи сковывались библейскими догмами. Наблюдения в области землетрясений и вулканизма не могли быть объяснены представлениями того времени. Значительное развитие получила лишь минералогия, которая была связана с практикой: она, кстати, формировалась в то время как раздел медицины. В 1473 г. в Германии впервые появляется термин «геология», однако в совершенно ином смысле по сравнению с существующим сейчас. Он понимался как комплекс «правил и законов земного бытия», противоположный теологии (А. де Бюра). Поскольку основой пранауки этого времени был опыт, соответствующие научные выводы не уходили далеко от скромных запросов и возможностей средневековья.

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 дра-

гоценных 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 «перегноя», 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 и 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 фоссилиях), 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 окончаний 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.

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 геологическими. 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 и 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).

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 эрратические 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 методику 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, plutонические и метаморфические. Он был автором аквальной теории происхождения лёссов, одним из основателей теории дрейфового переноса валунов путем вмерзания их в 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 сопровождалась 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), а затем аналогичные общества в Киеве, Харькове и Одессе (1869, 1870). В регионально-геологических исследованиях начинают принимать участие преподаватели вузов; в Киеве это были К.А. Феофилактов (1845–1891), П.А. Тутковский, в Харькове Н.Д. Борисяк, И.Ф. Леваковский и А.В. Гуров. Создаются многочисленные минералогические и геологические музеи в Харькове (1807), Львове (1852), Одессе (1871) и др.

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.

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.), подкорковых течений, 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, сформулированное 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 и 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) и его ученика А.Е. Ферсмана (1933—1939), а также В.М. Гольдшмидта (законы геохимического распределения элементов в Земле), А.П. Виноградова,

Б.Б. Полынова, 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 Сы-Гуан, 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, основам 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 гранито-гнейсовых образований). Споров 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.

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 современных 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, естественного в целом.

Начало расцвета 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 конкретии 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 металлотрическую съемку, биохимические поиски, геохимический прогноз, дистанционные геохимические исследования, а среди нефтегазовых — литогеохимические поиски, газовую съемку, геохимическую характеристику 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, Украины, 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 и 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 и 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.

3. ЗЕМЛЯ В МИРОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Изучение Земли и ее недр, в том числе природных ресурсов, истории формирования, состава земной коры, могут быть наиболее полно и глубоко выявлены лишь при правильном понимании места нашей планеты в Солнечной системе, Галактике, Вселенной. Земля формировалась из космического материала, испытывает непрерывное воздействие космоса, характеризуется разнообразными перемещениями и движениями, которые обусловлены внеземными причинами и которые необходимо знать и учитывать. Вместе с тем, она обладает рядом уникальных особенностей строения и развития, отличающих ее от других тел Солнечной системы.

Изучение Земли в мировом пространстве позволило обосновать представления о **Вселенной** – бесконечном и вечно существующем космическом окружении. В ее составе выделяется система галактик, или гигантских звездных скоплений. Количество звезд в галактиках может достигать многих сотен. Наша Галактика, включающая Солнечную систему, не является единственной во Вселенной. Интересной ее особенностью является существование или даже широкое распространение двойных звезд, вращающихся друг вокруг друга. По некоторым представлениям наша Солнечная система также состоит из двух звезд; вторая невидимая ее часть получила наименование Немезиды. Результатом взаимодействия таких двух звезд нашей системы может быть периодическое проявление бомбардировки Земли крупными космическими телами – метеоритами.

Вплоть до XVI века существовали представления, что центром мироздания является Земля. Лишь Н. Коперник в работе «Об обращении небесных шаров» обосновал гелиоцентрическую систему Мира, центром которого стало Солнце. Позднее эти взгляды были существенно дополнены и развиты. Ученых древности и особенно современных астрономов и геологов интересует происхождение Земли и Солнечной системы.

Солнечная система

Солнечная система, находящаяся на окраине нашей Галактики, совершает, по разным представлениям, полный оборот вокруг ее центра за 190–300 млн лет (в последнее время оно определяется в 235–250 млн лет). В ее составе известно 9 планет. К планетам земной группы (типа) относятся Меркурий, Венера, Земля, Марс, а к внешним планетам – Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун, Плутон. Радиус Солнечной система 5,9 млрд км (от Земли до Солнца 149,5 млрд км). Большинство планет окружено спутниками, которых насчитывается более 40. Распределены они неравномерно: у Меркурия и Венеры их нет, а у Юпитера и Сатурна их 16 и 17.

Сравнительная характеристика главных элементов Солнечной системы приводится практически во всех учебниках по общей геологии, поэтому повторять ее здесь нет смысла. Из нее явствует, что Земля, являющаяся типичной планетой земной группы, по многим показателям близка к своим соседям – Венере и Марсу. Вместе с тем, она резко отличается по многим особенностям своего строения: она имеет мощную гидросферу, обитаема, населена не только активно развивающимся растительным и животным миром, но и человеком. Последний начал интенсивно изучать ее и даже преобразовывать, исходя из своих интересов и потребностей.

Кроме планет и их спутников в Солнечной системе существуют другие космические тела. Главнейшие среди них – астероиды, метеориты, кометы.

Астероиды – небольшие космические тела, самые крупные из которых имеют в поперечнике менее 1000 км. Между орбитой Марса и Юпитера насчитывается несколько тысяч таких тел. Эту зону астероидов называют иногда «каменоломней Солнечной системы». По одному из представлений они являются не успевшей еще сформироваться планетой, а по другому – продуктом разрушения планеты Фаэтон. Наиболее важной задачей современного их изучения является установление возможности столкновения с Землей наиболее крупных представителей этой группы и прогнозирование или даже предупреждение такого события.

Метеориты – небольшие тела, попадающие из межпланетного пространства в зону притяжения Земли. Большинство метеоритов сгорают в атмосфере, а некоторые – достигают поверхности планеты. Геологов интересуют как следы их падения (метеоритные кратеры, или импактные структуры), так и сами эти сохранившиеся космические тела; по результатам их изучения делают предположения о составе внутренних зон Земли и даже ее возрасте. Среди метеоритов выделяются железные и каменные. Источником метеоритного вещества могут быть разрушающиеся астероиды или кометы. Возраст большинства метеоритов определяется в 4,6 млрд лет, что совпадает с предполагаемым возрастом Земли.

Кометы – (греч. «звезда с хвостом») их происхождение и состав до сих пор вызывают наиболее острые дискуссии. Предполагают, что ядро комет на 75 % состоит из льда и на 25 % – из пыли и каменного материала. Их хвост направлен в сторону, противоположную Солнцу. Период обращения комет вокруг Солнца составляет обычно не более 200 лет. Так, для наиболее известной кометы Галлея он составляет 76 лет. Некоторые исследователи предполагают важную роль воздействия данных тел на развитие органического мира Земли.

Само Солнце понимается как небольшая звезда (звезда-карлик) с диаметром 1390600 км. Однако он в 190 раз больше земного. Средняя плотность Солнца 1,41 г/см³. Судя по спектральному анализу, оно на 90 % состоит из водорода и на 10 % из гелия. Все планеты вращаются вокруг Солнца по орбитам, лежащим практически в одной плоскости. Планета Уран имеет обратное вращение.

Гипотезы происхождения Земли, Солнечной системы

Человека издавна интересовали вопросы происхождения Солнца, Земли, других планет. Первоначально эти представления имели форму мифов или других сказочно-фантастических предположений и связывались с действиями богов и чудовищ. Утвердившиеся гелиоцентрические взгляды, по которым в центре нашей системы расположено Солнце с вращающимися вокруг него планетами, заставили искать другие решения и объяснения.

В числе первых гипотез о происхождении Земли были представления Ж. Бюффона, предположившего, что наши планеты образовались в результате удара о Солнце крупной кометы (1745). Впоследствии такие взгляды были модернизированы Т. Чемберлином (1901), Ф. Мультином (1905)

и Дж.Х. Джинсом (1919), согласно которым рождение планет было результатом приливного притяжения прошедшей возле Солнца другой звезды: именно она вырвала из него сгустки раскаленного вещества, впоследствии остывшего и превратившегося в планеты нашей системы.

Вероятно, первая серьезная попытка создать картину происхождения Солнечной системы была предпринята И. Кантом (1755), а затем уточнена П. Лапласом. Они считали, что Солнце и планеты образовались из вращающейся газо-пылевой туманности. В результате такого вращения вокруг плотного ядра туманность превратилась в огромный диск, который затем разделился на оставшееся раскаленным Солнце, а также планеты и их спутники. Представления о первоначально раскаленной Земле существовали еще в течение всего XIX ст. В геологии эта идея нашла отражение в гипотезе контракции, по которой образование складок и разломов в земной коре произошло за счет остывания нашей планеты.

В 1944 г. О.Ю. Шмидт предложил гипотезу образования нашей системы в результате прохождения Солнца через холодное газопылевое облако. Планеты сформировались в результате взаимного притяжения и слипания (аккреции) данного метеоритного вещества, начавшего вращаться вокруг Солнца. Такие представления хорошо подтверждались расчетами масштабов современного поступления на Землю космического вещества. Если бы они падали с такой же скоростью, как сейчас, то наша планета могла бы сформироваться за 7 млрд лет. Учитывая, что на ранних этапах истории или в какие-то ее моменты этот процесс был более интенсивным, данная гипотеза хорошо подтверждает существующие взгляды на возраст составных элементов Солнечной системы.

Ф. Холл в середине XX ст. предположил, что Солнечная система, состоявшая из двух звезд, образовалась в результате взрыва второй звезды, давшей материал для создания планет. Эти и ряд других аналогичных гипотез хотя и отличаются по механизму космического планетообразования, но исходят из представления об общем веществе и близком времени формирования всей Солнечной системы. Земля прошла путь почти в 5 млрд лет прежде чем приобрела современный вид. Рассмотрение истории и условий формирования земной коры лежит уже в сфере интересов и компетенции геологии.

Говоря о происхождении нашей планеты, необходимо остановиться на выяснении условий образования ее гидросферы. Существует несколько гипотез происхождения воды на Земле. Согласно одной из гипотез, вода в виде молекул H_2O находилась в составе первичного газопылевого облака, из которого образовалась Земля, и в ее древней плотной атмосфере, из которой вода сконденсировалась, образовав Мировой океан. Существует гипотеза биохимического происхождения воды на Земле, согласно которой вода образовалась в процессе синтеза нуклеиновых кислот под влиянием жесткого космического и солнечного излучения. Есть также гипотеза внеземного происхождения воды, авторы которой полагают, что вода попала на Землю при падении на нее обломков ледяной планеты Фаэтон и ядер комет. Большинство исследователей считают, что вода синтезировалась из атомов водорода и кислорода в ходе дифференциации и дегазации вещества Земли (А.П. Виноградов и др.).

Движения Земли и воздействие космоса на ее развитие

Движения Земли являются предметом специального целенаправленно изученного астрономии, ее раздела, называемого механикой или кинематикой небесных тел; географию и геологию эти перемещения интересуют, главным образом, с точки зрения воздействия на процессы, происходящие в атмосфере, гидросфере, литосфере. Можно выделять следующие основные перемещения планеты, влияющие на ее развитие.

Движение Земли в составе Солнечной системы вокруг центра нашей Галактики. Один такой оборот нашей системы называется галактическим годом; его продолжительность по разным представлениям составляет от 187 до 300 млн лет. В последнее время чаще всего называют значения 235–250 или 275–280 млн лет. С таким перемещением некоторые исследователи связывают периодически проявляющиеся обширные оледенения на Земле, происходящие примерно через 300 млн лет, а также своеобразные вещество-энергетические воздействия, совершающиеся через 26, 75–80 и 235 млн лет. Они сопровождаются бомбардировками Земли крупными метеоритными телами и структурно-геологическими перестройками. В какие-то моменты геологической истории вдруг происходит резкое изменение режима и направления перемещения литосферных плит, меняется структурный план земной поверхности, происходит активизация тектонических и магматических процессов.

Движение Земли вокруг Солнца по эллиптическому радиусу, равному примерно 149 млн км, и затрачиваемое на это время называется звездным годом. Полный оборот Земля совершает за 365,26 суток. Следствием наклона оси планеты, равного 66,5°, и разной величины ее удаления от Солнца является смена времен года. Такие потепления и похолодания в разных частях планеты, разное количество атмосферных осадков в разные времена года находят отражения в климатической зональности, неравномерной активности природных процессов на Земле.

Вращение Земли вокруг своей оси, обуславливающее существование дня и ночи, совершается за 23 часа 56 минут и 4,09 секунды. Учитывая возможные изменения объема нашей планеты во времени, какие-то эпизодические тормозящие воздействия на нее, можно предполагать нарушение такого ротационного режима. Его следствием могут стать изменения дрейфа литосферных плит, другие проявления тектонических движений. По некоторым представлениям нарушение ротационного, или вращательного режима Земли является одной из основных причин проявления тектонических движений и, как следствие, разогрева в недрах.

У Земли лишь один спутник – Луна; однако размеры и масса ее соизмеримы с самой планетой. Подобное явление в Солнечной системе можно наблюдать лишь у Плутона. Поэтому здесь существует как бы двойная планета. Именно этот общий центр масс, а не центр Земли движется по годовой орбите вокруг Солнца. Один оборот системы Земля–Луна вокруг общего центра масс совершается за 27 суток 8 часов; его называют лунным месяцем. Воздействие Луны и Солнца на Землю является причиной еще одного из движений гидросферы и литосферы, которое называется приливами и отливами, а также «твердыми приливами». Подробнее об этом пойдет речь позднее.

Рассмотренными движениями Земли и Солнечной системы не ограничиваются перемещения нашей планеты. Наклон земной оси не остается одинаковым. Ось ее вращения совершает непрерывные перемещения по круговому конусу с периодом полного оборота в 26 тыс. лет. Такое поступательное движение называется **прецессией**. Географический и магнитный полюсы не совпадают, что обуславливает своеобразное «блуждание» последнего. Движущиеся по поверхности Земли реки вследствие ее вращения оказывают еще одно воздействие, называемое силой или ускорением Кориолиса. Оно проявляется, в частности, тем, что текущие в северном полушарии в меридианном направлении реки отклоняются и более активно подмывают правый берег. Такое явление получило в географии название закона Бэра-Бабиня (по именам установивших его исследователей).

Кроме них существуют и другие воздействия космоса, в числе которых можно назвать космическую бомбардировку Земли (подробнее о ней будет сказано в разделе «Природные процессы»), различный уровень активности Солнца, проявленный периодическими вспышками на нем и магнитными бурями. Уже в начале XX ст. доказано их влияние на многие земные события и процессы, в том числе развитие органического мира и человека, в частности. В 1915 г. А.Л. Чижевский образно назвал одно из таких явлений «земным эхом солнечных бурь». Особый интерес к ним возник в связи с развитием космонавтики. Геология пытается устанавливать связь с различными космическими явлениями, активизацию сейсмической и вулканической деятельности, а также других природных процессов.

Внутреннее строение планеты, ее поля

Непосредственному изучению при помощи шахт и скважин доступна лишь незначительная часть литосферы, равная примерно 10 км. Выход на поверхность более древних толщ и глубоких зон, происходивший в течение длительной геологической истории, позволяет составить представления о строении земной коры в целом, выделять в ней разные по составу и возрасту слои. Определенную информацию о плотности, составе и тепловом режиме отдельных глубинных зон планеты дают вулканические извержения, а также приборы, регистрирующие скорость прохождения образовавшихся волн при землетрясениях. Кроме того, сведения о строении Земли в целом могут быть изучены при помощи сейсмических методов. На отдельных участках поверхности или в недрах производится взрыв, и специальные приборы фиксируют характер прохождения сейсмических волн.

Центр Земли занят **ядром**, радиус которого 3470 км. Предполагается, что оно состоит из железа с примесью никеля и некоторых других легких металлов; такие представления основаны на изучении состава метеоритов. По другим гипотезам, ядро состоит из водорода, который при больших давлениях может перейти в состояние, подобное металлу. Температура в центре ядра может достигать 6000°, плотность составляет около 12,5 т/м³. В ядре выделяется внешняя часть, состояние которой по геофизическим данным напоминает жидкое, и твердая внутренняя зона.

Ядро окружено **мантией** (греч. «плащ, покрывало»), нижняя граница которой располагается на глубине 2900 км. Она составляет около 82 % объема Земли и состоит из преимущественно железа, кислорода, кремния

и магния. Верхняя часть мантии, до глубины примерно 800–900 км, является менее плотной и более эластичной; этот ее слой называют астеносферой (греч. «слабый слой или шар»). Предполагается, что такое «ослабленное» ее состояние обусловлено наличием здесь расплавленной массы или даже магмы, по которой перемещается литосфера. Эта же зона рождает глубинный магматизм (плутонизм) и вулканические процессы.

Выше мантии располагается земная кора. Нижняя граница последней уверенно определяется геофизическими методами; она получила название поверхности Мохо, или М (по имени впервые установившего ее А. Моховичича). Вместе с верхней перемещающейся частью мантии земная кора составляет литосферу, мощность которой 50–200 км. Эта находящаяся на астеносфере твердая оболочка Земли разбита на отдельные блоки — литосферные плиты. Более подробные сведения о земной коре и литосфере приведены в одном из последующих разделов.

Для полной характеристики Земли необходимо сформулировать представления о ее физических полях. Под таким названием понимают неравномерное значение тех или иных физических показателей планеты на разных ее участках. Их знание имеет важное значение для геологии, так как на основе их выявления осуществляется изучение внутреннего строения недр (так называемые геофизические методы исследований, в том числе геофизические поиски и разведка полезных ископаемых). Среди основных меняющихся физических показателей различают гравитационное, магнитные и тепловые поля.

Гравитационное поле Земли знакомо каждому и стало настолько привычным, что мы его не замечаем. Но его нужно учитывать в различных геодинамических расчетах при изучении природных процессов. Без преувеличения можно утверждать, что основные геологические процессы как на поверхности, так и в недрах (перемещение вещества, плавление и магматизм, движение вод и разрушение литосферы) обусловлены ее гравитационным полем. Кстати, и само образование нашей планеты в результате аккреции или наращивания ее объема за счет поступления космического вещества — это также следствие гравитации.

Сила тяжести, обусловленная массой Земли, различна на разных ее участках. Так, она возрастает по мере приближения к центру планеты (на ее полюсах, в пониженных участках рельефа, в частности). Кроме того, гравитационное поле является различным на участках осадочных или кристаллических пород, возрастает на участках более плотных их разностей. На этой физической их способности основан один из методов геофизического изучения недр планеты, выявление аномалии силы тяжести (гравиметрия, гравиразведка). Истолкование таких данных позволяет делать предположения о геологическом строении тех или иных исследуемых районов, о наличии определенных пород или даже полезных ископаемых на глубине.

Достаточно сложным является изучение магнитных полей Земли, процессов их изменения, характера размещения. Различают постоянное и переменное ее поля. Планета в целом обладает определенным магнитным полем, своеобразным магнетизмом (его называют геомагнетизмом). Условно это явление можно представлять как существование большого магнита с магнитными полюсами, которые не совпадают с географическими, фиксирующими ось вращения Земли. По изучению таких силовых линий различают

магнитные меридианы, склонение (угол между магнитным и географическим меридианами), экватор. Магнетизм Земли издавна использовался человеком для ориентировки, особенно в морских путешествиях (магнитный компас). Магнитное поле окружает нашу планету на расстоянии до нескольких тысяч километров. В последнее время подчеркивается важность такого явления; именно данное поле могло способствовать зарождению, длительному существованию и активному развитию на ней жизни.

Геомагнитное поле Земли не остается постоянным, меняясь во времени. В частности, из года в год и из столетия в столетие оно возрастает в одних районах и уменьшается в других. Такие монотонные изменения среднегодовых значений геомагнитного поля называются вековыми вариациями или вековым ходом. Помимо вековых изменений магнитное поле испытывает суточные колебания, связанные главным образом с действием ультрафиолетового излучения Солнца (ионизация атмосферы). Известны и очень резкие колебания продолжительностью от нескольких часов до нескольких суток, которые называют магнитными бурями. В среднем они возникают около 10 раз в год. Подобные кратковременные возмущения магнитного поля фиксируются отклонением магнитной стрелки от нормального положения. Они вызываются вспышками на Солнце и поступлением на Землю заряженных электрических частиц. Магнитосфера нашей планеты захватывает такие частицы, однако люди и живые организмы частично могут фиксировать такое поступление. В течение века магнитное поле Земли может несколько раз существенно возрасти или уменьшиться. В таких случаях говорят о повышенной солнечной активности или даже выделяют ее вековой максимум и о пониженной, выделяя «годы активного и спокойного Солнца». Интересно, что систематические наблюдения последних веков позволяют даже фиксировать своеобразную ритмичность в такой вековой активизации, приурочивать ее к определенным годам.

Наряду с подобным, существующим в настоящее время геомагнетизмом, различают меняющийся в геологическом времени магнитный режим планеты. В геологии он называется палеомагнетизмом, и его изучением занимается палеомагнитология. Изучение намагниченности горных пород, главным образом лавовых потоков и отдельных минералов в осадочных толщах, позволяет фиксировать инверсии магнитного поля Земли, когда в определенные интервалы времени направление «север—юг» меняется местами и выдерживается в течение длительных интервалов. В таком случае говорят об обратной полярности и на основании чередования прямой и обратной намагниченности строят даже палеомагнитную шкалу для определенных интервалов истории. Единых общепризнанных схем магнитного прошлого пока нет, но это очень перспективное направление исследований, начавшее изучаться лишь несколько десятилетий назад.

Кроме таких устойчивых смен магнитной полярности, или инверсий, устанавливают существование и кратковременных магнитных изменений, или «экскурсов» Земли. Под таким названием понимается короткое в геологическом масштабе времени изменение магнитного поля, вплоть до перемены обычной ориентировки «север—юг» на обратную. Но устойчивой инверсии в этом случае не происходит. Это достаточно хорошо установленное явление; последний такой экскурс имел место 10–12 тыс. лет назад.

Наконец, различают различного рода местные и региональные магнитные аномалии. Примером одного из подобных локальных ее проявлений может быть знаменитая Курская магнитная аномалия, магнитное поле которой в 5 раз выше среднего напряжения магнитного поля Земли. Она обусловлена наличием железистых кварцитов, содержащих минерал магнетит. Благодаря ее изучению уже в XX ст. здесь было открыто одно из крупнейших в мире скоплений железных руд. Примером региональной магнитной аномалии является Восточно-Сибирская, где фиксируется западное склонение вместо восточного.

Тепловое поле Земли складывается из двух основных источников – поступление тепла от Солнца и из недр. Солнечный тепловой поток достаточно хорошо изучен и понятен. Около половины его поглощают атмосфера, гидросфера, растительность и приповерхностный слой Земли, а половина отражается в мировое пространство. Его результатом является формирование холодных приполярных и теплого приэкваториального поясов.

Тепловой поток Земли также поддается измерениям. Установлено, что температура в недрах повышается на 1° в среднем через каждые 33 м, хотя для разных районов такая величина может сильно отличаться. Природа или причина рождения теплового потока недр и его распределение пока не в полной мере изучены. Предполагается, что он образуется за счет термоядерных реакций (тепло радиоактивного распада), гравитационного сжатия Земли под действием силы тяжести, тепла химических реакций и процессов кристаллизации, а также за счет тектонических движений. Последние могут быть результатом неравномерного вращения планеты и разнонаправленного перемещения отдельных блоков литосферы (тепло трения), различных приливных сил. Изучение геотермических особенностей земных недр имеет важное практическое значение, так как это тепло может стать источником устойчивого и при определенных условиях экологически наиболее чистого и экономически целесообразного энергообеспечения.

Уникальность строения и развития Земли

Изучая планеты Солнечной системы и выявляя принципиальное сходство их размеров, строения и движения каких-то групп, мы должны признать существенное своеобразие Земли, ее неповторимость и даже уникальность. Она заключается в том, что только Земля имеет мощную гидросферу, покрывающую почти три четверти ее поверхности, которая обусловила своеобразие многих природных ее процессов. Для Земли характерно наличие жизни, и точнее даже, высокоразвитой и длительно формирующейся биосферы, а также большие объемы продуктов ее деятельности (так называемые органогенные осадочные горные породы). С развитием биосферы тесно связано формирование окислительной атмосферы нашей планеты, своеобразная и непрерывная эволюция ее состава. Земля обладает мощным магнитным полем, создающим активные радиационные пояса планеты. Земное магнитное поле в 10^4 раз сильнее, чем у Марса, и в 10^7 – чем у Меркурия. Наконец, Земля имеет только один, но соизмеримый с ней по размерам спутник – Луну.

В последнее время развиваются представления, что именно данное обстоятельство или особенность Земли стала причиной ее уникальности

в целом. В условиях активного вулканизма, существовавшего на ранней стадии формирования планеты, поступления на поверхность воды и углекислоты, которые сопровождали этот процесс, могли зародиться живые существа. Вызванные вращением Луны твердые приливы планеты обусловили образование магнитосферы, создающей радиационные пояса-экраны, которые защитили появившуюся жизнь от ионизирующих излучений космоса. Формирование биосферы не только содействовало поддержанию и росту гидросферы, но и существенно изменило состав атмосферы, сделало ее пригодной для ныне существующего органического мира. А наличие водоемов, окислительной атмосферы и высокой тектонической подвижности обусловило своеобразие геологических процессов, которые весьма разнообразны и аналогов которым нет на других планетах Солнечной системы. На Земле стали формироваться мощные толщи осадочных пород, разновозрастные и разные по своему строению складчатые сооружения, разнообразные тектонические структуры земной коры (срединно-океанические хребты, трансматериковые рифтовые системы) и в результате образовался современный рельеф.

Есть еще одна группа причин, которая содействовала развитию уникальности Земли. Если бы она была немного меньшей и более легкой, то меньшая сила притяжения стала бы причиной того, что значительная часть образовавшейся на ней атмосферы улетучилась бы, исчезла. Такое явление мы можем наблюдать на Луне, а также небольших планетах системы – Меркурии и Марсе. И наоборот: если бы Земля была большей и более тяжелой, с большей силой тяготения и притяжения, то таким легким газам, как водород и гелий, понадобилось бы больше времени для того, чтобы покинуть нашу атмосферу. Это нарушило бы оптимальное соотношение газов, которое мы считаем наиболее пригодным для существования нашей жизни.

Особенностью Земли является ее почти круглая орбита. Если бы она была более вытянутой, то органический мир страдал бы от непрерывных резких перепадов температуры и не мог бы достичь современного уровня развития. Большие планеты нашей системы – Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун – вращаются вокруг Солнца на безопасном от нас расстоянии. Они не несут угрозы жизни на Земле. Больше того, они являются своеобразным экраном, «небесным пылесосом», предохраняющим нас от активной космической бомбардировки, характерной для окружающего космоса. Таким образом, идеальное с точки зрения современного состояния органического мира размещение Земли в Солнечной системе, ее размеры, благотворное влияние Луны и больших планет создали условия для развития жизни и формирования той уникальности, которую мы сейчас имеем.

4. ВЕЩЕСТВО ЗЕМНОЙ КОРЫ

Вещество земной коры частично изучает химия, рассматривающая распространение тех или иных химических элементов в природе, характер их взаимодействия. Физическая география рассматривает процессы переноса и накопления твердого и жидкого природного вещества в воздушной, водной и приповерхностных зонах Земли, описывая такие явления, как дождь и снег, почвообразование, засоление грунтов, накопление солей в водоемах, перенос пыли ветром. Однако в основном это предмет геологии, которую данное вещество интересует с точки зрения происхождения (в результате каких процессов и когда оно произошло), особенностей природного скопления и мест размещения некоторых его видов. Если предметом изучения химии являются химические элементы, их комбинации и составные части (ионы), совершающиеся между ними взаимодействия (химические реакции), то геология выделяет в земной коре минералы и горные породы, а также различные формы их сочетания — сферы Земли, слои, пласты, другие геологические тела. Иными словами, геология пытается расшифровать структурный, генетический и возрастной аспект размещения и формирования вещества земной коры, состав и эволюцию литосферы.

Химический состав земной коры

Химизм Земли и земной коры изучался многими исследователями, среди которых можно и нужно назвать Ф. Кларка, Г.С. Вашингтона, В.М. Гольдшмидта, В.И. Вернадского, А.Е. Ферсмана, А.П. Виноградова и др. Полученные ими данные отличаются лишь в деталях. Более чем на 98 % земная кора сложена кислородом, кремнием, алюминием, железом, магнием, кальцием и калием. При этом свыше 80 % составляет три первые элемента из этого списка. Особенно высоко содержание в земной коре кислорода (от 46,6 до 49,1 % по разным представлениям), что позволяет именовать ее иногда кислородной оболочкой Земли. По физико-химическим свойствам и в зависимости от распространенности в природе химические элементы принято разделять на металлы и неметаллы (металлоиды), макро- и микро-элементы, редкие и рассеянные элементы, легкие и тяжелые металлы. Изучением распределения и сочетания химических элементов в недрах Земли, их перемещением и накоплением (миграцией и концентрацией) занимается геохимия.

Необходимо учитывать, что химический состав земной коры, или верхних зон Земли не совпадает с таковым для всей планеты в целом. По существующим представлениям, сформировавшимся главным образом на основании изучения метеоритов, состава вулканических извержений и геофизического анализа строения глубинных зон в мантии и ядре, кроме кислорода и кремния, широко распространены или даже преобладают железо и магний. Общая схема такого состава приведена ниже.

Минералы

Простейшим природным соединением принято считать минерал. Термином этим (лат. «руда») обозначают природное вещество и тело, приблизительно однородное по химическому составу и физическим свойствам, образующееся в результате разнообразных процессов в земной коре. Обыч-

Химический состав земной коры и Земли (в %)

	Состав земной коры	Состав Земли
Кислород	47,9	30,12
Кремний	29,5	29,5 15,12
Алюминий	8,14	1,41
Железо	4,37	32,7
Кальций	2,71	1,54
Калий	2,4	0,023
Натрий	2,01	0,12
Магний	1,79	13,9
Титан	0,52	0,08
Углерод	0,27	—
Водород	0,16	—
Марганец	0,12	0,075
Сера	0,1	2,92
Никель	—	1,82

но минералы имеют кристаллическое строение (частично лишь аморфное) и являются составной частью горных пород. Известно около 3 тыс. минералов, которые группируются по химическому составу, происхождению, распространенности в природе (породообразующие и редкие) и другим признакам. Среди физических свойств, по которым их разделяют и характеризуют, различают цвет, прозрачность, твердость, способность образовывать кристаллы определенной формы, иметь определенный излом. Наиболее распространенная схема их деления по химическому составу приведена ниже; здесь же приводится информация о происхождении, распространенности в земной коре.

1. Самородные элементы или наиболее простые их представители, примерами которых могут быть сера, золото, графит, алмаз. Часто они содержатся в россыпях или образуют другие скопления в зонах выветривания, а также являются продуктами гидротермального процесса.

2. Оксиды и гидроксиды (окислы и гидроокислы). Составляют около 17 % земной коры, представлены более 400 минеральными видами, которые имеют преимущественно магматическое и метаморфическое происхождение и включают:

1) Оксиды кремния / SiO_2 /, входящего в состав гранитов, песков, песчаников, кварцитов, гнейсов. Это кварц и его разновидности – горный хрусталь, халцедон, аметист, морион и др. Данные минералы образуются при застывании магмы или лавы, гидротермальном и других процессах, освобождаются из горной породы в процессе выветривания.

2) Гидроксиды кремния / $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ /, представителями которого являются опал, кремний. В отличие от оксидов они содержат какое-то количество воды. Образуются при формировании коры выветривания и других процессах.

3) Оксиды и гидроксиды алюминия. Являются типичными минералами метаморфических пород. Среди них корунд / Al_2O_3 / и его драгоценные разновидности – рубин и сапфир, а также боксит / $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ /.

4) Оксиды и гидроксиды железа: гематит / Fe_2O_3 /, магнетит / Fe_3O_4 , или $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ /, лимонит / $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ /. Обычно это минералы, которые

входят в состав железных руд метаморфического, осадочного или гидротермального происхождения.

3. Сульфиды, или природные сернистые соединения, а также их аналоги — арсениды, телуриды и др. Включают такие распространенные или важные для промышленности образования, как галенит /свинцовый блеск, PbS /, сфалерит /цинковая обманка, ZnS_2 /, пирит /железный колчедан, FeS_2 /, халькопирит, или медный колчедан / $CuFeS_2$ /, халькозин /медный блеск, Cu_2S /, молибденит / MoS_2 /). Образуются в результате гидротермальных процессов или в зоне выветривания. Данный тип насчитывает около 450 минеральных видов (сульфидов — около 250).

4. Сульфаты — продукты осаждения солей серной кислоты в водоемах (лагунах, озерах, заливах). Включают такие минералы, как гипс / $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ /, ангидрит / $CaSO_4$ /, мирабилит /глауберова соль, $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ /, бишофит или горькая соль / $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ /). Известно около 250 их минеральных видов.

5. Галоиды, включающие хлориды — продукты осаждения солей в водоемах, среди которых такие важные и известные минералы, как галит /поваренная, каменная или пищевая соль, $NaCl$ /, сильвин / KCl /, карналлит / $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$ /, бишофит / $MgCl_2 \cdot H_2O$ /, сильвинит, а также фториды, представителем которых является флюорит, или плавиковый шпат / CaF_2 /). Представлены более чем 120 минеральными видами.

6. Карбонаты, или соли угольной кислоты. Имеют осадочное или гидротермальное происхождение. Включают такие минералы как кальцит / $CaCO_3$ /, магнезит / $MgCO_3$ /, доломит / $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ /, сидерит / $FeCO_3$ /, малахит / $CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$ /). Общее количество их — около 100.

7. Фосфаты (а также арсенаты, ванадаты), включающие около 500 минеральных видов магматического и органогенно-осадочного происхождения. Обычно содержит ортофосфат кальция — $Ca_3(PO_4)_2$ и представлены такими известными минералами, как апатит и фосфорит.

8. Силикаты и алюмосиликаты — сложные соли кремниевой кислоты. Являются наиболее распространенными в природе минералами, имеющими магматическое и метаморфическое, частично осадочное происхождение (продукты выветривания). Насчитывают более 830 видов, и они составляют 78 % массы земной коры. Схема деления их достаточно сложна и основана на особенностях структуры минералов. Они делятся на островные (оливин или перидотит / $MgSiO_4 \cdot FeSiO_4$ /, а также гранаты), цепочечные или ленточные силикаты и алюмосиликаты (амфиболы и пироксены, среди которых такие минералы, как роговая обманка, гиперстен, авгит), листовые и слоевые, включающие различные слюды (биотит, мусковит), тальк, серпентин, хлориты, каолинит, глауконит. Особый класс составляют каркасные алюмосиликаты, в составе которых группа полевых шпатов (50 % массы земной коры). Включают такие минералы, как ортоклаз / $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ /, микроклин, альбит—лабрадор—анортит и др., фельдшпатоиды (нефелин).

9. Бораты, хроматы, вольфраматы. Включают около 150 минеральных видов, имеющих магматическое и гидротермальное происхождение и незначительное распространение. Среди наиболее известных минералов — вольфрамит, шеелит, бора, хромит.

10. Органогенные минералы, являющиеся продуктами окисления нефти, другого преобразования органического вещества, окаменевшей смолой. Включают такие известные минералы, как озокерит, асфальт, янтарь, мумий.

Кроме классификации минералов по химическому принципу производится также деление их по физическим показателям – цвету, твердости, прозрачности, блеску, спайности, форме кристаллов и др. Такие признаки обычно используются для предварительного или даже наоборот – окончательного определения минералов. Формы нахождения их в природе разнообразны и зависят главным образом от условий образования. Кроме кристаллов различной формы или их скоплений (друзы, двойники, другие сростки) они встречаются в форме жезд, секреций, конкреций, натечных форм в пещерах (сталактиты и сталагмиты). Наконец, встречаются минералы аморфного или скрытокристаллического строения.

Важным является выделение той группы минералов, которые получили наименование породообразующих. Они включают представителей разных химических классов и типов – некоторые самородные элементы (графит, сера), сульфиды (пирит, марказит, халькопирит), оксиды и гидроксиды (кварц, халцедон, гематит, магнетит, корунд, опал, лимонит), галогены или галоиды (галит, карналлит, флюорит), карбонаты (кальцит, магнезит, доломит, сидерит, трона), сульфаты (гипс, ангидрит), фосфаты (апатит, фосфорит) и многие силикаты. Большинство их уже было перечислено выше. Именно их природное сочетание образует горные породы.

Необходимо напомнить, что наука, занимающаяся изучением минералов, получила название «минералогия». Это одна из древнейших научных дисциплин, которая в определенном отношении развивалась отдельно от того направления, которое получило название «геология». Такое явление нашло отражение в том, что еще и сейчас в стране сохранилась научная степень и звание кандидата или доктора геолого-минералогических наук. И естественно, что минералогия накопила огромную информацию. Достаточно напомнить о том, что минералогический словарь Г. Штрюбеля и З.Х. Циммера насчитывает около 10000 терминов. Кроме того, существует 3-томный справочник по минералам под редакцией Ф.В. Чухрова (1960), минералогическая энциклопедия (1985), региональные выпуски о минералах Украины (Лазаренко, 1975; Шербак и др., 1990), учебники и учебные пособия, другая литература.

Горные породы

Горные породы представляют собой более или менее устойчивые по составу агрегаты из одного или нескольких минералов, обломков других пород или вулканического материала, образовавшиеся в результате разнообразных геологических процессов. Такие процессы разделяют на три большие основные группы – магматические, метаморфические и осадочные. Основную их массу составляют породообразующие минералы, состав и строение которых отражает условия образования горных пород. Количество минералов в породе непостоянно и состав их различен. Она может состоять из одного минерала (например, кальцит в известняке или мраморе, кварц в кварците или кварцевом песчанике) или разнообразного их сочетания. Такая распространенная порода, как гранит, включает кварц, полевые шпаты, слюды, темноволновые силикатные минералы.

Горные породы образуют разнообразные геологические тела: пласты и горизонты в осадочных толщах, вулканические постройки или глубинные магматические образования, зоны выветривания на земной поверхности.

О геологических телах речь будет идти в разделах, посвященных структурной геологии, вопросам изучения строения литосферы, полезным ископаемым. Схема деления или классифицирования горных пород обычно предусматривает выделение основных их типов по происхождению (магматические, осадочные, метаморфические) и дальнейшее разделение по составу и структуре, или особенностям строения. Общая схема такого деления приведена ниже.

Магматические (изверженные) породы разделяются на две основные группы:

Глубинные (интрузивные) образования, являющиеся результатом застывания магмы на глубине, и излившиеся (эффузивные) породы, образованные в результате вулканизма. В зависимости от содержания в них кремнезема, или SiO_2 , все они разделяются на кислые (более 65 % кремнезема, к которым относят граниты и липариты, средние (65–52, диориты, порфириты), основные (52–45, габбро, базальты, диабазы) и ультраосновные (менее 45 % кремнезема, – дуниты, пироксениты, перидотиты); выделяют также щелочные породы (сиениты). Породообразующими минералами магматических пород являются силикаты (кварц, полевые шпаты, слюды, амфиболы, пироксениты), которые в сумме обычно составляют около 93 %. Глубинные и излившиеся породы обычно различаются по своей структуре – раскристаллизованные в первом случае и порфиоровые или стекловатые во втором.

Кроме собственно интрузивных и эффузивных выделяют переходные их разности – сформировавшиеся на небольшой глубине субвулканические жерловые и другие образования, а также дайки, жилы, структура которых имеет промежуточные черты строения. Они же отличаются по форме своих тел. К вулканическим породам, кроме излившихся, относят также пирокластические или туфовые образования – продукты выброса этих извержений. Особую группу среди них составляют игнимбриты – спекшиеся вулканические туфы. Интрузивные породы имеют обычно массивную текстуру, характеризующуюся отсутствием ориентировки минеральных зерен; реже в них встречаются следы течения. В эффузивных породах ориентированная структура и текстура возникают чаще. Нередко они являются пористыми (выделение газов при застывании), образуют сложное переслаивание излившихся и туфовых или осадочных пород.

Осадочные горные породы характеризуются целым рядом особенностей. Они имеют обычно слоистую структуру и текстуру, образуют различные по форме и мощности слои, пласты, горизонты, являются наиболее распространенными в земной коре породами, образуя ее осадочный слой. Уже само их название говорит о том, что образовались они преимущественно в водных бассейнах в процессе осаждения. Включают следующие основные группы:

Обломочные породы, представленные обычно скоплением обломочного материала разного размера, окатанности, сортировки. Их принято разделять на несцементированные (валуны, галька, гравий, песок, лёссы) и сцементированные, а в зависимости от размера – на валуны и брекчии (свыше 100 мм), галечные и конгломератовые породы, гравий и гравелиты (обычно 10–1 мм), пески и песчаники (1 или 2–0,1 или 0,05 мм), алевриты, лёссы, алевриты (размер частиц 0,05–0,005 мм). В зависимости от состава зерен песчано-гравийных пород их могут разделять на кварцевые, аркозовые

(преимущественно полевошпатовые), граувакковые (зерна основных пород), глауконитовые, полимиктовые и др.

Глинистые породы представляют собой тонкодисперсные разности с размером менее 0,001–0,005 мм. В увлажненном состоянии они пластичны, при высыхании сохраняют приданную им форму, а при обжиге твердеют. Обладают адсорбционными (поглощение вещества из жидкости или газа) и другими своеобразными свойствами. В зависимости от преобладающих в них минералов они разделяются на каолиновые, глауконитовые, гидрослюдистые и др. Глины разделяют также на цементные легкоплавкие, огнеупорные, тугоплавкие, что обуславливает интерес к ним тех или иных видов промышленности. Сцементированные глины получили название агиллитов.

Химические (хемогенные) осадочные породы образуются из растворенных в воде веществ за счет выпадения их в осадок. В зависимости от состава их разделяют на галогенные (хлоридные, представленные каменной, калийной и др. солями), сульфатные (гипс, ангидрит), карбонатные (известняки, доломиты), кремнистые (гейзериты, опоки), фосфатные, марганцевистые, железистые, алюминиевые и др.

Органогенные (органические, биогенные, или биолиты) породы представлены теми разновидностями, для которых доказано органическое происхождение. Это продукты жизнедеятельности организмов, их сохранившиеся остатки. В зависимости от состава разделяются на карбонатные (известняки, писчий мел), кремнистые (радиоляриты, диатомиты), углеродные горючие (торф, уголь, горючие сланцы), углеводородные (нефть, горючие газы), фосфориты.

Метаморфические горные породы – результат преобразования пород другого генезиса, при котором метаморфиты приобретают иные структурно-текстурные особенности, а иногда и вещественный состав. Главными факторами метаморфизма являются эндогенное тепло, всестороннее (петростатическое) давление, химическое воздействие газов и флюидов. Процесс этот проявлен на больших площадях, образуя в земной коре гранитно-метаморфический ее слой. Вместе с тем, наряду с региональным, выделяют также локальный (приконтактный, приразломный) метаморфизм. Для этих пород характерны ориентированные текстуры (полосчатые, сланцеватые, гнейсовые), иногда пятнистые и другие окраски. Деление метаморфических пород обычно производится в зависимости от состава тех образований, которыми они сложены.

В зависимости от этого принято выделять метаморфиты карбонатного состава (мрамор, кальцифир), обломочно-метаморфические породы (кварциты), сланцевые и гнейсовые породы (роговики, кристаллические сланцы, гнейсы, гранито-гнейсы), амфиболиты. Образовались они за счет перекристаллизации известняков, песчаников, глинистых пород, гранитов, базальтов. В качестве своеобразных метаморфических пород принято рассматривать серпентиниты (процесс глубокого метаморфического преобразования ультраосновных пород), гранулиты (гнейсовые породы с гранатом), эклогиты – основные породы, преобразованные в условиях высоких температур и давлений. В отличие от более или менее понятных по происхождению магматических и осадочных пород, образование метаморфитов является более сложным и менее расшифрованным.

Камень в природе, истории человека

При изучении вещества и состава земной коры сформировалось еще одно понятие, которое получило название «камень». В отличие от газообразного или жидкого вещества камнем называют твердую сцементированную горную породу или минерал. Уже с давних времен камень отличали от металла, который можно было ковать (он изменял форму при механической обработке), а также «земель» — рассыпчатого песчано-глинистого материала, который иногда также мог быть рудой. Кстати, еще в начале XIX ст. вещество земной коры делилось на камни, металлы, земли и соли (последние могли растворяться). В целом камнем называют выход на поверхность сцементированных горных пород, элементы каменных форм рельефа горных областей (например, скалы в долинах уральских рек), определенную группу полезных ископаемых (драгоценный, поделочный, иной камень) или обломок твердого естественного вещества. В естествознании и геологии, в частности, избегают использования этого термина из-за его неопределенности, хотя заменять чем-то окаменелость, строительный или декоративный камень сложно и нецелесообразно.

Камень сыграл важную роль в жизни человека. Достаточно напомнить, что каменный век был самым продолжительным в его истории. Камень был основным орудием первобытного человека, при помощи которого он защищался и охотился, а также использовал в быту. Без преувеличения можно говорить, что наряду с водой и пищей он был первым полезным ископаемым. Камень активно использовался в строительстве, культурной жизни человека (создание памятников), лечении, ритуальных обрядах. Уже намного позднее он научился искусственно создавать камень, который по многим признакам не уступал своему природному аналогу (кирпич, бетон, синтетический драгоценный камень). По условиям залегания осадочных и магматических пород человек научился изучать историю развития земной коры, расшифровывать «каменную летопись Земли». Наконец, в строении Земли принято выделять каменную оболочку — литосферу, которую отличают от пока еще загадочной мантии и еще более непонятного ядра.

Геологию, кроме использования камня как полезного ископаемого, очень интересует возможность применять его для расшифровки сформировавшихся его процессов, истории развития земной коры. Именно поэтому сейчас остро ставится вопрос о каменных памятниках природы как неповторимом элементе геологического разреза и составной части окружающей среды. Как самостоятельное научное направление в последние десятилетия оформляется геммология (изучение драгоценного камня), а также литотерапия — использование камня при лечении и как живительной минеральной добавки. Археологию и историю интересует роль камня в истории человека, возможность разделять ее на палеолит, мезолит, неолит, бронзовый и железный век. Такие примеры показывают неразрывную связь культурно-общественных и сугубо геологических вопросов. Уже в середине XX ст. был поднят вопрос о целесообразности оформления самостоятельного научного направления, для которого было предложено название «камневедение» (Белянкин, 1950, 1952); сейчас имеет смысл не только вспомнить это, но и обратить внимание на такое предложение.

Науки, изучающие вещество земной коры

Вещество земной коры изучает большой комплекс геологических наук, в составе которых принято различать минералогию, петрографию, петрологию, литологию; существует также ряд пограничных наук — геохимия, петрохимия, петрофизика, петрургия, кристаллография и др., которого состав породы или даже литосферы интересует с точки зрения решения своих вопросов. Изучение полезных ископаемых обусловило оформление самостоятельных научных направлений, таких как металлогения (минерагения), учение о рудных, нерудных, горючих и других группах этих ископаемых. Следует подчеркнуть, что уже первобытный человек широко использовал камень, знакомился с его свойствами, что дает основание утверждать, что данное геологическое направление было в числе первых его исследований.

Минералогия (лат. «руда» и греч. «учение») — наука о минералах, их составе, структуре, свойствах, происхождении, видоизменениях, распространенности в природе, практическом использовании. Может рассматриваться как одна из древнейших отраслей геологических знаний, которая зародилась еще в каменном веке, когда люди научились отличать и отыскивать интересные их камни. Развитие ее тесно связано с формированием горного дела, а также изучением драгоценных камней (геммология), использованием их для лечения. Первые попытки классифицирования минералов имеются уже у древнегреческих ученых (Аристотель и др.). В современном виде данная наука оформилась лишь в конце XIX—начале XX ст.

В своем развитии минералогические исследования опираются на знания химии, физики, кристаллографии, геологии. Среди методов этой науки нужно назвать описательный, кристаллографический (изучение формы минералов, кристаллического вещества), оптический (исследования под микроскопом), рентгеноструктурный, минераграфический, химический и физический, при которых изучаются состав и свойства минералов. В структуре минералогии можно различать общую, генетическую, региональную. Как самостоятельные научные и прикладные направления, тесно связанные с минералогией, оформились металлогения (минерагения), геммология, или наука о драгоценных камнях, учение о породообразующих минералах и др. Ранее уже подчеркивалось, что минералогия развивалась в значительной степени самостоятельно от того, что позднее было названо геологией.

Петрография — наука, изучающая горные породы с точки зрения их минералогического и химического состава (структура, соотношение составных частей), различных геологических особенностей. Название ее произошло от греческого «петрос» — скала, камень. Различают петрографию магматических, метаморфических и осадочных пород; последняя является составной частью литологии. В узком смысле слова петрографией называют описательную часть этой науки (состав, структурно-текстурные особенности, вопросы классифицирования и номенклатуры); более углубленно происхождением горных пород занимаются петрология и литология.

Петрология — наука, всесторонне изучающая магматические и метаморфические горные породы с точки зрения их вещественного состава, происхождения, распространения в природе и других особенностей. Она тесно

связана с другими науками — учениями о полезных ископаемых, магматических и метаморфических формаций, геотектоникой (петротектоника, учение о литосферных плитах), геодинамикой, минералогией, региональной геологией (представления о петрографических провинциях). Обычно петрологические процессы обособляют от осадконакопления (седиментации), в результате которого формируются осадочные горные породы.

Литология (греч. — камень) наука о процессах осадконакопления, формирования осадочной оболочки земной коры. Ее составными частями являются петрография осадочных пород, седиментология, расшифровывающая процессы осадконакопления, литогенез, или процесс превращения осадков в горную породу. Учитывая выразительность и высокую степень изученности происхождения осадочных горных пород, как самостоятельные направления оформились учения о периодичности и ритмичности процессов осадконакопления (для них даже предложено свое название — литмология). Вероятно, наиболее разнообразные и многочисленные методы литологии — фациальный и формационный анализ, количественные подсчеты седиментационных повторений, своеобразные методы изучения глинистых пород и др. Соответственно, развитие литологии тесно связано с такими науками, как гидрология, океанология, почвоведение, историческая геология, литодинамика.

Крупным самостоятельным направлением стала геохимия — наука, сформировавшаяся на стыке геологии и химии. Ее следует считать геологической наукой, изучающей распределение, сочетание, рассеяние и концентрацию, миграцию химических элементов в земной коре и в недрах Земли. Это очень многообразный круг исследований и вопросов, в котором различают геохимию биогенеза (процессы, связанные с действиями и энергией живого вещества), галогенеза (выпадение солей в осадок), гипергенеза, диагенеза, техногенеза. Изучается геохимия осадочных пород, ландшафта, моря, океана, подземных вод, угля. Методы данной науки также весьма разнообразны.

Кроме изучения геологическими науками вещества земной коры существует ряд других направлений. Примером одного из них можно считать камневедение — комплекс знаний или даже самостоятельная наука о камне, натуральном и искусственном. Оно включает как традиционно оформившиеся науки о веществе земной коры (минералогия, петрология, литология, геохимия), так и учения о техническом камне, петрургии (получение вещества путем направленного плавления горных пород), литотерапии, или лечения камнем. Термин этот был предложен Д.С. Белянкиным (1952) и пока не получил развитие. Еще одним подобным направлением можно считать геммологию (учение о драгоценных камнях), которая зародилась еще в глубокой древности и начала использоваться в научных кругах с начала XX ст.

Завершая рассмотрение наук о веществе земной коры, необходимо подчеркнуть важное прикладное значение предложенных ими методов ее изучения. Среди них геохимические методы поисков рудных и нефтегазовых месторождений, минералогические методы поисков россыпей и рудных тел (шлиховой и др.), использование методов петрографии для изучения металлов, синтетических материалов. Самостоятельной отраслью промышленности становится петрургия, основанная на плавлении горных пород и промышленных отходов с их последующей отливкой в определенные формы.

5. ДИНАМИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

Под таким названием принято выделять крупное направление геологии, изучающее древние и современные процессы на земной поверхности и в недрах, которые формируют земную кору. Процессы, которые происходят в атмосфере, гидросфере и на земной поверхности, образуют рельеф и климат, изучает физическая география. В состав последней входят метеорология, климатология, гидрология, океанология и океанография, вулканология, сейсмология, гляциология, мерзлотоведение и др. как самостоятельные науки. Данные знания интересуют динамическую геологию с точки зрения понимания того, как подобные процессы развивались в прошлом и какое воздействие они могли оказать на формирование земной коры или как современные процессы могут воздействовать на устойчивость грунтов, что является предметом изучения инженерной, динамической и экологической геологии.

Современные и прошлые геологические процессы принято разделять на две основные группы – эндогенные, рожденные внутренней энергией Земли, и экзогенные – поверхностные и приповерхностные их проявления. Особняком стоят процессы космического воздействия на литосферу и земную кору, которые обычно динамическая геология не рассматривает. Учитывая их важность и необходимость дальнейшего углубленного изучения, мы лишь коротко упомянем о них. Следует добавить также, что динамическую геологию называют иногда физической. Изучает ее процессы непременно и достаточно детально общая геология, с которой обычно начинают систематическое изучение геологических наук. Она обеспечена большим количеством учебной литературы.

Эндогенные процессы зарождаются в недрах Земли и проявляются разнообразными перемещениями отдельных участков литосферы, плавлением и застыванием, преобразованием пород на глубине. Соответственно среди них различают магматизм, метаморфизм, тектонические движения (тектонез). Магматизм может быть проявлен либо непосредственным выходом на поверхность расплавленной массы, или лавы (такой процесс назван вулканизмом), либо образованием магмы или такого же расплава, который впоследствии может застыть на глубине. В этом случае говорят об интрузивном магматизме, или плутонизме.

Под экзогенными процессами понимается переработка поверхностных зон литосферы атмосферой и, главным образом, гидросферой. В этом случае говорят о геологической работе ветра, моря, рек, ледников. Поверхностные воды могут проникать в недра и там продолжать преобразование земной коры. Однако даже на большей глубине работа подземных вод относится к экзогенным процессам, так как они обусловлены воздействием внешней динамики и по форме проявления сходны с другими ее видами. И соответственно вулканизм, хорошо наблюдаемый на поверхности и образующий новые формы рельефа, есть результат рождающих его внутренних сил. Среди главных групп экзогенных явлений различают процессы разрушения литосферы, перенос водой или ветром обломочного и растворенного материала, а также его накопление в каких-то других, иногда очень отдаленных районах. Для этих трех случаев используются термины денудация (разрушение), транспортировка и аккумуляция (накопление).

Эндогенные процессы (процессы внутренней динамики)

Тектонические движения (ТД) – в основном механические перемещения в литосфере, вызывающие изменение строения или структуры земной коры. Обычно они находят отражение в образовании различных геологических тел, рельефе земной поверхности, поднятиях или опусканиях отдельных участков, иногда при горизонтальных смещениях. Не менее важным результатом их проявления можно считать образование различных деформаций – складок, разрывов со смещениями (разломов), других процессов дробления и переработки литосферы. Это весьма сложная и разнообразная группа эндогенных процессов; в геологии выделяется несколько сотен терминов, характеризующих те или иные виды таких перемещений и форм, образовавшихся в результате этого процесса. Схема проявления главнейших тектонических движений в упрощенной форме имеет следующий вид:

1. Процессы перемещения литосферных плит (ЛП), а также их взаимодействия, среди которых различают:

Спрединг – расхождение их в осевых зонах океанов с выходом на поверхность вулканического материала, частично «выдавленных» твердых мантийных образований. Пример его проявления – формирование осевой части Атлантического океана.

Субдукция – погружение океанической ЛП под материковую плиту с формированием в этой зоне глубоководных желобов, островных дуг, проявлением активного вулканизма, сейсмичности. Пример таких проявлений тектогенеза – западная окраина Тихого океана.

Схождение ЛП, сопровождающееся смятием ранее накопивших отложений, формированием горно-складчатых сооружений, наземным вулканизмом. Пример – формирование Средиземноморского пояса в месте схождения Африканской и Евразийской ЛП. Синоним схождения термин коллизия (англ. – «непосредственное очень сильное столкновение»).

2. Колебательные ТД – преимущественно вертикальные перемещения земной поверхности, сравнительно медленные опускания и поднятия отдельных площадей, сопровождающиеся наступлением и отступлением моря на сушу, периодически проявляющиеся накоплением морских и континентальных отложений, формированием столовых (сводовых) гор.

3. Деформационные ТД – местные и региональные изгибания, сопровождающиеся формированием складок или разрывов (разломов), в том числе сбросов, взбросов и надвигов, горстов и грабенов, рифтов, а также горно-складчатых сооружений. Последние процессы называют орогенезом или складкообразованием.

4. Землетрясения – сравнительно кратковременные дрожания и перемещения земной коры небольшой амплитуды, проявления которых мы можем наблюдать непосредственно в активных зонах Земли.

5. «Твердые приливы» – ежесуточные поднятия и опускания отдельных участков верхних зон литосферы, вызванные притяжением Луны и Солнца (аналогичные движения гидросферы называются приливами и отливами).

Различают древние тектонические движения, следы проявления которых фиксируются в обнажениях и отражены на геологических картах и сопровождающих их стратиграфических колонках, а также новейшие и современные. Например, если в стратиграфической колонке имеются морские

отложения какого-то возраста, то можно утверждать, что в это время данная площадь испытывала опускания. И наоборот, отсутствие накоплений в другие интервалы времени свидетельствует о воздыманиях. Две последние группы движений устанавливаются по результатам анализа рельефа (формирование речных и морских террас), историческим данным или результатам непосредственных измерений приборами. Например, о поднятиях или опусканиях каких-то прибрежных участков судят по результатам погружения под воду прибрежных построек или удалению их от моря, современным его наступаниям на сушу или отступаниям от нее. Причиной проявления тектонических движений может быть воздействие космоса, изменение режима вращения Земли, процессы плавления, застывания и другие геодинамические проявления и преобразования в недрах. Изучением тектонических движений, выявлением и расшифровкой образуемых ими форм земной коры занимается геотектоника.

Большая группа эндогенных процессов получила название магматизма. Его принято разделять на две основные группы – вулканизм и интрузивный магматизм (плутонизм), с которым тесно связан метаморфизм.

Под вулканизмом понимают процессы образования и излияния на поверхность расплавленных масс земной коры (лавы), сопровождаемые зачастую газо-водными выбросами. Его результатом является формирование отдельных вулканов (вулканических конусов), горных гряд и поясов, плато и трапповых полей. Процессы эти могут происходить в наземных и подводных условиях, в том числе на дне океанов. Они выражаются либо в сравнительно спокойном излиянии лав, либо сопровождаются сильными взрывами и активными пирокластическими, или огненнообломочными выбросами. Иногда застывшие вулканические излияния занимают очень большие площади. В результате длительной денудации на месте вулканических конусов могут сохраняться более твердые жерловые образования, называемые некками (англ. – «шея»). Такие постройки можно наблюдать на Карадаге (Крым), в Карпатах и во многих других местах.

По характеру извержений выделяют несколько типов, названия которых получены от наблюдений над соответствующими вулканами. Выделяется гавайский его тип (лава содержит мало кремнезема и очень подвижна, излияние ее происходит спокойно, практически без взрывов, что обуславливает незначительную высоту и большую ширину конуса), катмайский тип, в котором вязкая лава с огромным количеством газов сопровождается крупными выбросами вулканических бомб, плинийский, или везувийский тип извержений, проявленный выбросами огромного количества пепла. Для вулканского типа извержений (по острову и постройке Вулкан в пределах Липарских островов) характерна вязкая лава, образующая застывшие купола в кратере. Пелейский тип извержений проявлен выдавливанием из кратера вязкой лавы.

Историко-геологический анализ позволяет выделять следующие типы вулканизма: 1) Платформенный – в результате расколов на платформах происходит излияние в наземных условиях лав преимущественно базальтового состава с образованием обширных трапповых полей; такие постройки известны на Сибирской платформе (плато Путоран), в Индостане (плато Декан), Африке и Южной Америке. 2) Орогенный – туфовые выбросы и наземные излияния лав кислого и среднего состава (обогащены кремнеземом),

которые сопровождают горообразование; на Северо-Востоке в результате такого процесса сформировался Охотско-Чукотский вулканический пояс протяженностью в 3000 км, а в Южной Америке — Арауканский. 3) Геосинклинальный и островодужный — вулканизм, проявляющийся на дне океанов, в том числе в срединно-океанических хребтах; в пределах островных дуг изливаются андезитовые и базальтовые лавы, обычно переслаивающиеся мощными морскими осадочными отложениями.

Результатом вулканизма является формирование разнообразных пород, получивших название эффузивных (лат. — «излившиеся») и туфовых или пирокластических (дословно — «огненнообломочные»). Среди наиболее известных вулканических пород этого типа выделяются:

— обсидиан (вулканическое стекло) — обычно черная порода стекловатого строения с острыми, режущими краями;

— порфиритовые породы (липариты, андезиты, порфириты) — кислые и средние по составу эффузивы с отдельными вкраплениями кристаллов на фоне слабо раскристаллизованной массы;

— базальты, диабазы — наиболее распространенные лавовые породы темных цветов, которые бедны кремнеземом и сформированы в наземных или подводных условиях;

— пепловые туфы — затвердевшие продукты выброса тонкого пылеватого вулканического материала обычно кислого состава;

— агломератовые туфы — плохо сортированные пирокластические породы, включающие крупные сцементированные обломки вулканитов.

Интрузивный процесс, метаморфизм, формирование глубинных магматических тел и пород — еще одна группа эндогенных проявлений. Застывшая на глубине магма или преобразованные метаморфизмом породы со временем могут выходить на поверхность. Такое явление мы наблюдаем на Украинском и Балтийском щитах, во многих древних складчатых областях Урала, Тянь-Шаня, Алтая. Группа эндогенных геологических процессов, включающая рождение и застывание магмы в недрах, метаморфизм, образование на глубине магматических тел и пород, не может наблюдаться непосредственно. Поэтому об их проявлении судят по результатам анализа геологических карт, геофизического изучения глубоких зон литосферы, определения абсолютного возраста магматических и метаморфических пород, других специальных исследований.

Интрузивный процесс, или плутонизм (по имени Плутона — бога подземного царства в греческой мифологии), является результатом проявления определенных тектонических движений. Интенсивные сжатия и перемещения на границах литосферных плит приводят к плавлению на глубине пород определенных зон литосферы. Наиболее активно такое плавление происходит при формировании горно-складчатых сооружений. Расплавленная масса, или магма, может всплывать в верхние зоны земной коры, но при этом не выходит на поверхность. Этим интрузивный магматизм отличается от вулканизма.

В результате такого магматизма формируется большое разнообразие интрузивных тел. Среди них различают батолиты (от греческого «глубина и камень»), или наиболее крупные интрузивные тела обычно гранитного состава с круто уходящими на глубину границами. Площадь их выхода на поверхность может составлять сотни и тысячи кв. км. Более мелкими

телами являются лакколиты — интрузивы грибообразной или грушевидной формы. Их примером может быть гора Аю-Даг (Медведь-гора) в Крыму. Наиболее мелкими являются узкие трещинные магматические внедрения, называемые дайками (шотл. — «стена из камня»); их ширина могут составлять лишь первые метры, но протягиваться они могут на большие расстояния.

Результатом плутонизма является формирование большого разнообразия интрузивных магматических пород, имеющих разный состав и в различной степени раскристаллизованных. Магматические процессы — образование магмы на глубине или выход лавы на поверхность — может сопровождаться формированием и движением сильно нагретых подземных вод. Это так называемый гидротермальный процесс, результатом которого является перенос перегретыми подземными водами каких-то растворенных компонентов и дальнейшее их осаждение в трещинах и других зонах в виде самых разнообразных минеральных скоплений. Следствием таких проявлений может быть образование наиболее красивых кристаллов, а также промышленные скопления некоторых руд.

Метаморфизм (греч. — «превращение») — процесс изменения минерального состава и структуры, строения горных пород под действием высоких температур и давлений. Такие условия создаются в результате опускания каких-то осадочных и магматических пород на большие глубины. Метаморфизм проявляется в твердом состоянии (порода не плавится, иначе она стала бы магматической!) и обычно без изменения химического состава преобразуемого вещества. В ряде случаев здесь происходит не только перекристаллизация, но и привнесение новых глубинных компонентов — воды, минеральных веществ; такой процесс называется метасоматозом. Результатом метаморфизма является превращение осадочных и магматических горных пород в метаморфические. Так, песчаники, известняки и глины в глубинных зонах превращаются в кварциты, мраморы, глинистые и кристаллические сланцы, а граниты — в гнейсы и гранито-гнейсы. Иногда метаморфическое преобразование пород происходит не только в результате регионального возрастания температур и давлений с глубиной, но и в зонах сильных сжатий (больших перемещений по крупным разломам), а также на границе вмещающих пород с магмой. В последнем случае говорят о контактовом метаморфизме.

Экзогенные процессы (процессы внешней динамики)

Среди экзогенных (греч. — «рожденные снаружи») процессов принято различать геологическую работу ветра, поверхностных текучих вод, моря, ледников, а также процессы выветривания. Наряду с разрушением литосферы и переносом продуктов разрушения (для этих случаев используется термин «денудация» и транспортировка) различают процессы осаждения, или аккумуляции, а также превращения перенесенного материала в осадочные горные породы. Он называется диагенезом (греч. — «перерождение, или второе рождение»). От эндогенных и экзогенных процессов обособляют космическую бомбардировку Земли, или поступление на земную поверхность космического материала.

Геологическая работа ветра называется также эоловой деятельностью (по имени бога ветров Эола в греческой мифологии). В ней различают процессы

разрушения, или дефляцию (лат. — «выдуваю»), обработки пород, или «кор-разию» (лат. — «обтачивание»), перенос пылеватого материала и его накопление, или аккумуляцию. Ветровое разрушение и обработка приводит к обтачиванию и сглаживанию скал, в результате чего они приобретают иногда весьма причудливые формы, а также к формированию борозд, сот и ячей в неоднородных породах. Перенесенный ветром материал может накапливаться в виде барханов и дюн, приводить к образованию песчаных пустынь. Процесс их современного переноса известен как пыльные (пылевые) или песчаные бури. Своеобразной породой наших районов, сформировавшейся в результате переноса ветром наиболее мелких пылеватых частиц, являются лёссы. В Китае мощность подобных лёссовых пород может достигать многих десятков метров.

В работе поверхностных текучих вод различают деятельность постоянных водотоков, или рек, временных водотоков, формирующих овраги, лога, саи и распадки в горных районах, а также плоскостной смыв в результате дождей и тающих снегов. В этой деятельности также можно различать процессы разрушения (их называют эрозией, выделяя в пределах речной долины боковую и глубинную эрозию), транспортировки и обработки переносимого материала, вследствие чего остроугольные обломки превращаются в валуны и гальку, а также его накопление. Результатом таких процессов является формирование речных долин и террас, дельт и конусов выноса в устьях рек и оврагов, накопление песчано-глинистых шлейфов в основаниях горных склонов, речного аллювия.

Достаточно сложным и длительным является процесс формирования речных террас. Террасой называют горизонтальную или слегка наклоненную площадку вдоль русла реки, ограниченную уступом. Их формирование свидетельствует о том, что уровень моря (базиса эрозии) периодически меняется, происходит скачкообразное воздымание земной поверхности. В случае поднятия происходит новый врез реки и формируется более молодая терраса. Кстати, сам факт их существования свидетельствует еще об одном виде своеобразных тектонических движений, которые рассматривались ранее. Речь идет об эпизодических скачкообразных поднятиях, а может быть, изменениях уровня Мирового океана.

В геологической работе моря также различают процессы разрушения берега (они называются абразией), обработку грубообломочного материала и превращение его в окатанные валуны и гальку, а также разнос, сортировку и накопление продуктов этой деятельности. Морской прибой формирует либо обрывистый абразионный берег, либо аккумулятивный его тип — различной ширины и протяженности валунно-галечно-песчаные пляжи. Обработанный морем обломочный материал может далеко разноситься течением, частично поступаая в океан. Море также разносит и накапливает поступающие в него продукты работы рек (механическое вещество, растворенные соли).

Наибольшим разнообразием характеризуется аккумулятивная деятельность моря. Это обработка, сортировка и накопление обломочно-глинистого материала, полученного в результате разрушения берегов и приноса его реками, накопление продуктов жизнедеятельности морских организмов (ракушечник, карбонатный и кремнистый ил), образование хемогенных пород, выпавших в осадок в лагунах и пересыхающих морях. Морские отложения могут содержать самые разнообразные полезные ископаемые: строитель-

ные материалы, россыпи, химическое и агрохимическое сырье (известняки, соли, фосфориты), а также органические остатки, по которым может определяться их возраст.

Работа ледников является своеобразной и выразительной. Ледником называют естественное скопление кристаллического льда выше снеговой линии, образовавшееся в результате поступления твердых атмосферных осадков, которое сопровождается его перемещением. Различают горные и материковые ледники. Примером первой группы могут быть ледяные скопления в Альпах, Тянь-Шане, Гималаях, на Кавказе. Наиболее обширные материковые ледники известны в Антарктиде, Гренландии, на островах и побережье Арктики. Геологическая работа ледника сводится к сглаживанию рельефа равнин и дна долины, где он перемещается (этот процесс называется экзарацией или ледниковой эрозией), а также переносу движущимся льдом обломочного материала. Последний называется мореной, а его древние аналоги – тиллитами. Динамическая геология и физическая география занимаются изучением современных ледников; это направление исследований выделяется в самостоятельную науку, названную гляциологией. Древние оледенения Земли будут рассмотрены в главе «Палеогеография».

Выветриванием называется своеобразная группа экзогенных процессов – разрушение горных пород на поверхности и в верхних зонах земной коры. Его не следует связывать или путать с работой ветра. Такое разрушение происходит под воздействием колебаний температуры (физическое и морозное выветривание), разрушающего и растворяющего действия воды, сложных химических и биологических процессов. Соответственно, различают физическое (механическое), химическое и биологическое, или органогенное, выветривание. Результатом физико-механического разрушения является формирование осыпей на водоразделах и склонах, разрушение твердых кристаллических пород и превращение их под воздействием многократных перепадов температур, а также промерзания и оттаивания в обломки и дресву.

Химическое выветривание – это результат работы, главным образом, подземных вод. В результате выветривания гранитные и другие кристаллические породы превращаются в каолины, разнообразные глины, а также бокситы и латериты. Характер выветривания и состав сформировавшихся продуктов зависит от разрушающихся пород и существующего климата. Примером биологического выветривания является почвообразование – обогащение органикой песчано-глинистых продуктов химического выветривания. Сохранившиеся на месте или слегка сместившиеся продукты разрушения принято называть корой выветривания.

Еще одной своеобразной группой экзогенных процессов является превращение рыхлых осадков и продуктов жизнедеятельности, образовавшихся при разрушении литосферы, в осадочные породы. Такой процесс перерождения называется диагенезом. Глинистый ил, образовавшийся в морях, на дне озер и стариц, уплотняется, частично обезвоживается. Песок и галечник цементируются, превращаясь в песчаники и конгломераты. Растительная органика озер и болот превращается в торф, а затем в бурый и каменный уголь. Карбонатный ил и ракушечник становятся известняком, а кремнистые осадки – кремнистыми породами. Такие диагенетические процессы следует отличать от метаморфизма, где изменения происходят под воздействием высоких температур и давлений.

Космическое воздействие на земную кору

В таком явлении следует различать вещественное и энергетическое воздействие. Первое из них проявлено тем, что Земля подвергается непрерывному поступлению на ее поверхность космического материала. Значительная часть этого вещества «сгорает» в атмосфере и поступает в виде пыли. Однако наиболее крупные космические тела (метеориты) достигают поверхности и оставляют на ней следы в виде ударных воронок, или метеоритных кратеров; их иногда называют импактными структурами (англ. — «удар») или астроблемами — «звездными ранами». Следы подобных кратеров, но лучшей сохранности и очень большого размера, мы можем наблюдать на Луне, Марсе, Венере. Не исключено, что космическое происхождение могут иметь нуклеары — кольцевые системы сложного строения, размеры которых могут достигать в диаметре 500—3800 км. К настоящему времени на земной поверхности выявлено более 30 таких структур.

На Земле установлены следы падения примерно 170 метеоритов; максимальные размеры их кратеров достигают 180, 100 и 80 км в диаметре. Ученые научились определять возраст образующихся при ударном плавлении пород — импактитов и по ним судить о времени соответствующего события. Намечается определенная периодичность в проявлении такой бомбардировки, равная примерно 26 млн лет. Тогда Земля подвергается наиболее активной эпизодической бомбардировке — падению нескольких крупных космических тел. Таких падений было намного больше, но следы тел, попавших в океан, не сохранились. Установлено, что с подобной бомбардировкой зачастую связаны вымирания в органическом мире прошлого. Следует подчеркнуть, что последняя активизация подобного космического воздействия имела место 10—14 млн лет назад.

Учитывая важность подобного ударного воздействия малых космических тел, для совокупности такого процесса был даже предложен специальный термин — коптогенез (В.Л. Масайтис, 1984). Он включает ударное образование кратеров, формирование специфических пород (импактитов) и приток на планету космического вещества. Роль этого явления менялась во времени. Предполагается, что наиболее интенсивным оно было в интервале 3,6—4,2 млрд лет назад, а в последующей истории сохранило роль подчиненного процесса по отношению к более интенсивному осадочному, магматическому и метаморфическому пороодообразованию.

Космическая бомбардировка преобразует, главным образом, поверхностные зоны Земли. Вместе с тем, по времени с подобной эпизодической бомбардировкой крупными метеоритами совпадает активизация магматизма, складкообразования, других эндогенных процессов, а иногда и смена режимов и направления перемещения литосферных плит (структурно-геологические перестройки). В таком случае говорят о периодически происходящем кратковременном энергетическом воздействии на развитие Земли, меняющем режим перемещения ее литосферных плит и условия тектогенеза, формирующего складчатые сооружения. Сама по себе космическая бомбардировка не в состоянии оказать воздействие на режим развития литосферы и перемещений в земной коре. Однако ее активизация — это очень надежный показатель такого воздействия. О совпадении по времени тектонических фаз и интенсивной космической бомбардировки речь будет идти в геотектонике.

6. СТРУКТУРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

Структурная геология понимается как составная часть геотектоники — науки о строении, движениях и развитии земной коры. Она изучает формы залегания геологических тел и является основой для геологического картирования — геологической съемки и картосоставительских работ. В отличие от геотектоники в целом, структурная геология занимается в основном приповерхностным изучением земной коры. Знания о геологическом строении отдельных площадей лежат в основе поисково-разведочных работ на полезные ископаемые, расшифровки истории развития, составлении разнообразных карт, интересующих геологию.

История структурно-геологических и картосоставительских работ является сложной и достаточно длительной. Уже первая разработка железных руд и строительного камня, добыча соли и минеральных красок сопровождалась соответствующими наблюдениями, развитием горного дела и научной системы наблюдений. Еще в 1584 г. в Московском государстве было образовано централизованное управление по обработке естественных строительных материалов («Государев Приказ каменных дел»), а в 1700 г. учрежден отдельный Приказ рудокопных дел. Знаменитые академические экспедиции в последней трети XVIII ст., а также открытие в Петербурге Высшего горного училища (затем кадетского корпуса, института) в 1774 г. поставило на научные основы картосоставительские работы. Хотя старинные «чертежи» и планы заводов, карты и схемы местонахождения руд и других полезных ископаемых начали создаваться намного раньше.

Большое значение для геологического картирования имели стратиграфические исследования Ж. Кювье во Франции и В. Смита в Англии, которые разработали представления о последовательности залегания слоев (пластов) и биостратиграфические основы их межрегиональной корреляции. В России такие работы выполнялись Д.И. Соколовым. В 1839 г. поставлен вопрос о составлении геологических карт горных округов. Первый такой опыт был осуществлен Г.П. Гельмерсеном, опубликовавшим в Горном журнале свою «Генеральную карту горных формаций Европейской России» (1841). С 1875 г. начинается регулярное проведение сессий Международного геологического конгресса, который на второй своей сессии (1881) принял необходимую для составления геологических карт схему или шкалу стратиграфических подразделений.

В 1882 г. в России создается Геологический комитет — первое специальное государственное учреждение, которому было передано руководство всеми геологическими работами и, в частности, геологической съемкой. С 1892 г. началось составление детальных геологических карт Донбасса в масштабе 1:42000 (Л.И. Лутугин, П.И. Степанов). В результате работы Геолкома к началу 1918 г. геологической съемкой всех масштабов было покрыто 30,3 % общей площади России. Из этого количества в масштабе 1:200000 закартировано около 2,2 % площади, а более дробно — лишь около 0,2 % территории государства. В течение двух предвоенных десятилетий эти показатели возрасли до 6,8 % для среднемасштабных карт и до 2,8 % для карт более крупного масштаба.

Основной объем геологосъемочных и картосоставительских работ пришелся на три послевоенных десятилетия. В 1946 г. на базе Комитета было

создано Министерство геологии СССР; позднее такие же республиканские министерства были созданы в Украине и Казахстане. Появляется большое количество руководств и инструкций по проведению геологической съемки. В учебных заведениях соответствующего профиля появляются курсы по структурной геологии и геологической съемке (В.А. Апродов, 1952; Н.А. Елисеев, 1953; Г.Д. Ажгирей, 1956; А.Е. Михайлов, 1959; В.В. Белоусов, 1960 и др.). Именно на базе проведения всех этих работ сформировались современные представления о геологическом строении нашей территории, методике проведения геологической съемки и структурно-геологических построениях.

Формы залегания осадочных горных пород

Наиболее характерной особенностью осадочных отложений является их слоистое строение. Слоем (пластом) называется более или менее однородный, первично обособленный осадок или горная порода, ограниченная приблизительно параллельными поверхностями. Слоистостью называется чередование слоев. Различают параллельную, косую, волнистую, линзовидную слоистость. Первичное (ненарушенное) залегание слоев сохраняется редко; обычно структурная геология имеет дело с различного рода нарушениями, которые и являются предметом ее изучения. Взаимоотношение слоистых толщ предполагает трансгрессивное их налегание (разрастание площадей более молодых отложений), регрессивное и миграционное, при котором тип залегания осадочных толщ характеризуется смещением в определенную сторону.

Образование слоистых толщ представляет собой достаточно сложный процесс, в котором нужно выявлять фациальные замещения, изменения мощности пласта по площади, закономерное чередование определенных пород по разрезу. Чередование слоев бывает согласным и несогласным. Различают несогласие параллельное (в разрезе параллельно залегающих отложений выпадает какая-то их часть, иногда весьма значительная), угловое, которое выражено разным углом наклона пород, а также географическое, скрытое и др. Кроме того, несогласия бывают местными, региональными, внутрiformационными и межформационными. Существование последних может свидетельствовать о резком изменении седиментационно-палеогеографических условий на больших площадях. Наконец, несогласия могут быть тектоническими, когда разновозрастные отложения соприкасаются по разлому.

Первичное залегание осадочных отложений обычно осложняется различного рода тектоническими деформациями, среди которых различают складчатые и разрывные. Особую группу нарушений составляют трещины. Кроме этих трех основных групп нарушений существуют особые формы залегания осадочных горных пород — рифовые постройки, подводно-оползневые нарушения, кластические дайки, соляные диапиры.

Складчатые формы залегания слоев особенно многообразны. Складки бывают симметричными и асимметричными (разная величина наклона слоев), наклонными, опрокинутыми, лежащими и с более сложными нарушениями. В составе складки выделяют антиклинальную ее часть, где в осевой ее части залегают более древние породы, и синклинальную. От складок отличают флексуры — коленчатые изгибы в слоистых толщах. Генетическая классификация складок предусматривает выделение эндогенной

и экзогенной складчатости. Среди эндогенной группы выделяют складки погружения (деформации образуются при неравномерном погружении фундамента), складки регионального сдавливания (общего смятия), складки облекания, гравитационного скольжения, приразрывные и диапировые складки. Экзогенные складки могут быть обусловлены подводно-оползновыми процессами, диагенетическим уплотнением, разбуханием и дегидратацией, движением ледника (гляциодислокации).

Трещины в горных породах понимаются как разрывы без существенно-го смещения. Их разделяют на тектонические и нетектонические, среди которых различают первичные трещины при уплотнении, усыхании, температурных и других изменениях в осадочных породах, выветривании, образовании оползней и провалов, расширении пород при разгрузке, а также трещины в эффузивных породах при остывании. Тектонические трещины образуются при появлении в породах напряжений, превышающих пределы их прочности. И соответственно выделяют трещины отрыва, скалывания и др. Особую группу трещиноватости составляет кливаж – частые параллельные трещины, образующиеся при пластической деформации горных пород; выделяют разные формы кливажа – послойный, веерообразный и др. Специальное изучение эндогенной трещиноватости при геологосъемочной и других работах может позволить расшифровать геодинамические условия ее формирования.

Разрывы со смещениями, называемые обычно разломами, принято разделять на сбросы (нарушения, при которых поверхность разрыва наклонена в сторону смещения), взбросы (поднятие слоев по зоне разрыва) и сдвиги. Сбросы и взбросы могут формировать грабены и горсты. В первом случае ограниченный разрывами блок опущен, а во втором – приподнят. Особую группу составляют надвиги (взброс, в котором одна часть пород надвигается на другую). Тектоническими покровами или шарьяжами называют крупные надвиги, характеризующиеся перемещениями на километры и десятки километров по пологим горизонтальным и волнистым поверхностям. Они развиваются в областях со сложным складчатым строением и определенным составом нарушающихся пород (обычно песчано-глинистых).

Формы залегания магматических и метаморфических образований

Структурные формы таких образований характеризуются большим разнообразием. Представления о значительной их части бывают получены в результате не только геокартирования и непосредственного наблюдения, но и некоторых предположений по глубинным зонам магматитов. Для их изучения используются также геофизические методы и методы аналогий, при которых структурно-геологические представления формируются по результатам изучения подобных геологических тел в других районах и регионах.

Формы залегания вулканических, или **эффузивных образований** весьма сложны. Они определяются многообразием типов вулканизма, различной степенью вскрытости вулканических построек, существованием постепенных переходов между эффузивными и интрузивными породами. Пепловые туфы и вулканогенно-осадочные породы изучаются так же, как осадочные. При изучении вулканических образований предметом геологического картирования становится выявление очагов излияния, определение возраста эффузивных пород. Важную роль в таких исследованиях имеет дешифрирование

аэро- и космоснимков. При крупномасштабном картировании выделяется площадь развития вулканитов не только, но и отдельных их структурных форм – жерловых некков, отдельных потоков, дайковых и глубинных магматических тел, сопровождающих проявление вулканизма.

Относительно просто картируются трапповые базальтоидные излияния, которые обычно хорошо выделяются в рельефе. Вместе с тем, здесь нужно выявлять зоны их излияния, дайковые и жерловые тела. Традиционно считается, что излившиеся базальты должны переслаиваться с туфовыми породами; однако часто туфами называют выветренные разности туффузиев, перекрытые более молодыми излияниями. Особую сложность представляет картирование и расшифровка подводных вулканогенно-осадочных образований эвгеосинклинального типа. Собственно вулканические породы здесь часто перемежаются с выдавленными протрузивными образованиями.

Среди интрузивных образований выделяют следующие основные формы: батолиты (наиболее крупные массивы глубинных изверженных пород), штоки (округлые тела, размер которых обычно не превышает 100 кв. км), лакколиты – небольшие тела грибообразной формы, залегающие во вмещающих их разных по составу породах. Среди других интрузивных тел обобщают также магматические диапиры, лополиты (блюдецобразной формы интрузивы, залегающие почти согласно с вмещающими породами), факолиты, размещающиеся обычно в ядрах антиклинальных складок. В числе наиболее распространенных рвущих тел известны также дайки и интрузивные залежи (силлы). При картировании интрузивных образований важную роль играет изучение контактовых ореолов, внутренних тектур массивов, зон их трещиноватости. Большую сложность в ряде случаев вызывает определение возраста интрузивов, для чего используются структурно-геологические и радиогеохронологические методы.

Формы залегания метаморфических образований также очень сложны, и при расшифровке их структурно-геологических условий могут использоваться те же методы, что для осадочных и магматических пород. В числе главных задач их картирования – определение исходного состава метаморфических пород, стратиграфическое расчленение, изучение внутренней структуры выявляемых подразделений. Расшифровка структур дислокационного метаморфизма предполагает выделение в составе метаморфических образований зон трещиноватости, дробления, разрывов, смятия. Обычно большую сложность вызывает определение возраста метаморфических пород, для которых данные абсолютной геохронологии могут фиксировать лишь время метаморфизма, а не само их образование. Наконец, интрузивные и метаморфические образования могут подвергаться последующим метасоматическим и другим преобразованиям, требующим специального изучения.

Геологическое картирование

Основой структурной геологии является геологическое картирование. Под таким названием понимается процесс составления геологической карты разного масштаба. Принято различать геологическую съемку и карто-составительские работы. Первая из них представляет собой сложный комплекс разносторонних непосредственных наблюдений и исследований, опирающийся на ряд методов. Кроме составления геологических карт

в процессе проведения таких работ изучается и решается большой круг вопросов — поиски и предварительная оценка полезных ископаемых, связь их с геологическими структурами, выявление гидрогеологических, инженерно-геологических, эколого-геологических и других особенностей определенной площади, которые поставлены в число задач съемки.

В зависимости от масштабов геологической съемки ее разделяют на мелкомасштабную (1:1000000—1:500000), среднемасштабную (1:200000—1:50000) и крупномасштабную (1:25000 и крупнее). Поиски производятся как комплексные (на все полезные ископаемые), так и целевые, что характерно для крупномасштабного картирования. Методики проведения таких съемок иногда существенно разнятся. Картосоставительские работы предусматривают составление общих геологических или целевых карт с минимальным объемом полевых исследований, необходимых лишь для увязки отличающихся представлений по данным разных исследователей. Еще одним видом картирования можно считать доизучение или пересоставление карт для определенных площадей, если в этом возникает необходимость, появляются сомнения в каких-то построениях.

Организация геологосъемочных работ начинается с обоснования необходимости их проведения, формулирования цели и задач. Составляется проект таких работ, в котором определяются площадь, масштаб, сроки их выполнения. Условно в проведении геологической съемки выделяются предварительный, полевой и камеральный периоды. Начальная стадия ее, кроме составления проекта, включает определение состава партии, выбор транспорта и снаряжения, подбор топографических карт и аэрофотоматериалов, их предварительное дешифрирование, изучение фондовых и литературных материалов.

Полевой период геологической съемки включает маршруты по изучаемой площади по определенной сети, проведение горных и буровых работ, специальных тематических исследований (стратиграфических, петрологических и других наблюдений, сборов палеонтологических остатков и т. д.), если они предусмотрены. Характер проведения геологосъемочных работ может существенно отличаться в условиях высокогорных, таежных, пустынных и других районов. Плохая обнаженность, а также изучение полезных ископаемых может потребовать, кроме горных работ и бурения, специальных геофизических работ. В этот период ведется полевая документация, составляется предварительная карта, собирается коллекция образцов и производится отбор проб на различные анализы (химические, спектральные и др.).

В камеральный период завершается работа над картографическим материалом, подготавливается к хранению необходимая полевая документация и каменный материал, производится составление отчета со всеми необходимыми к нему приложениями. Работа завершается защитой отчета и принятием рекомендаций по дальнейшим их исследованиям, если в этом есть необходимость, а также проведением поисково-разведочных работ, если их необходимость или целесообразность будет доказана.

Геологические карты и производные от них

Геологическая карта является основным документом проведенной съемки или картосоставительских работ, основой для структурно-геологических, историко-геологических и других представлений и построений. Принципы

их составления остаются примерно одними и теми же на протяжении последних полутора веков. Цветом на таких картах показан возраст выходящих на поверхность отложений. Кроме того, цветом изображен состав интрузивных образований – кислых, средних, основных и ультраосновных. Специальными знаками обозначены разрывные нарушения, контактовый и региональный метаморфизм, углы падения пород и другая структурно-геологическая информация.

Крупно- и среднемасштабные карты предусматривают составление стратиграфической колонки, показывающей последовательность залегания осадочных отложений. Кроме того, составляется разрез по произвольно выбранной линии, который показывает залегание тех или иных осадочных толщ и геологических тел на глубине. Проведение геологической съемки дополняется также картой фактического материала, на которой нанесены точки наблюдения, горные выработки и скважины, места палеонтологических находок, отбора проб и другая информация, которая должна показать обоснованность выполненных построений.

Карта полезных ископаемых составляется в том же масштабе, что и геологическая и на той же информационной основе. Обозначение известных или выявленных полезных ископаемых показывается определенными знаками, которые размещаются на месте стратиграфических разрезов. Обозначение их производится в соответствии с существующими инструкциями. В качестве дополнения к такой карте может составляться карта прогнозов. Обоснования даваемых рекомендаций приводятся в тексте.

Принципы составления тектонических карт разнятся в зависимости от их масштабов. На мелкомасштабных картах показываются основные тектонические элементы изображаемой площади – платформы, складчатые сооружения, краевые прогибы, материковые рифты и другие крупные структуры. Крупномасштабные карты, изображающие лишь какой-то участок таких структур, могут показать лишь характер складчатых и разрывных деформаций (антиклинали и синклинали основных складок, разный тип разломов, мощность осадочного покрова на платформенных площадях и др.). Методика составления таких карт непрерывно изменяется и совершенствуется и целью их является не только показ структур, но по возможности и характер тех тектонических движений, что их рождают.

Геоморфологическая карта и карта четвертичных отложений также составляются на основе полевых наблюдений и дешифрирования космических и аэрофотоснимков. Главная задача таких карт показать зависимость рельефа от геологического строения, генетическое многообразие четвертичных отложений. В последнее время важная роль уделяется изображению на специальных картах информации, получаемой при дешифрировании космоснимков, значения части которой пока не может быть однозначно расшифровано. В качестве самостоятельных могут рассматриваться карты формаций, структур дистанционного зондирования и др. Гидрогеологические и инженерно-геологические карты, а также некоторые другие являются обычно предметом специально проведенных работ (съемок).

7. 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. Хаина (1964, 1973, 1985, 1995), Ю.А. Косыгина (1969, 1983), И.И. Потапова (1964), О.А. Вотача (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 сейсмотектоника, 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 и 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.

Все эти вопросы достаточно полно освещены в имеющихся учебниках и справочниках, поэтому здесь будет приведена лишь общая схема рассмотрения данных вопросов. При этом необходимо подчеркнуть, что многие из них будут фигурировать в соответствующих разделах структурной, исторической и региональной геологии. Более подробно в данном разделе будут охарактеризованы тектонические движения с точки зрения датировки, закономерностей развития их во времени, так как это направление геотектоники остается наименее детально разработанным.

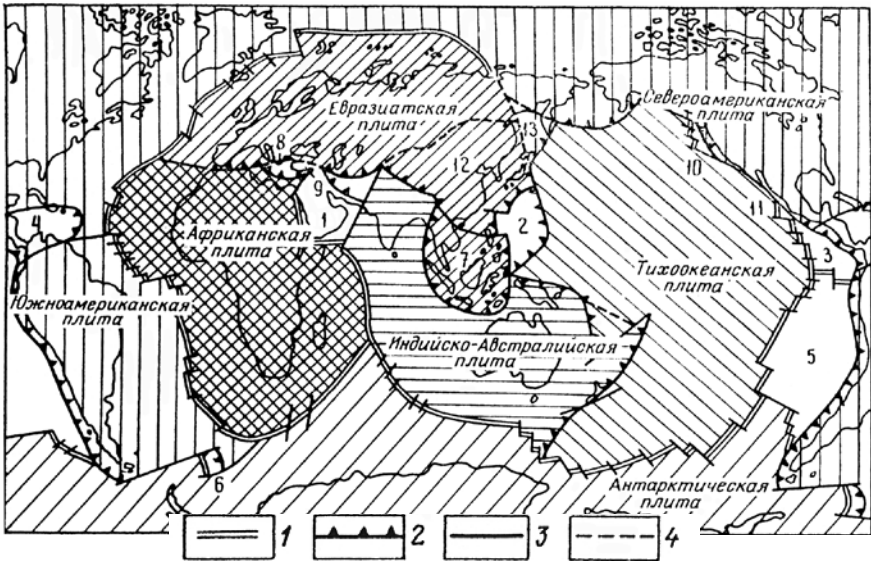
Литосферные плиты и характер их взаимодействия

Понятия «земная кора» и «литосфера» не являются синонимами. Литосфера включает, кроме всей земной коры, еще и часть верхней мантии, расположенной 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 плита в пределах Восточно-Европейской платформы, Западно-Сибирская плита 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 вулcano-плутоническими 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 – повышенная 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. 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 – Кокосовая, 4 – Карибская, 5 – Наска, 6 – Южно-Сандичева, 7 – Индокитайская, 8 – Эгейская, 9 – Анатолийская, 10 – Хуандефука, 11 – Ривера, 12 – Китайская, 13 – Охотская

Рисунок 1. Литосферные плиты Земли (Хаин, Михайлов, 1985)

Необходимо подчеркнуть, что представления о литосферных плитах доказаны и более или менее однозначно понимаются лишь для мезокайнозойской 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.

Основные структурные элементы материковой земной коры

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

вулканизмов 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 тектонно-магматической 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, внегеосинклинальные гранитоиды. Наиболее выразительные структуры и системы этой группы также будут рассматриваться в разделе региональной геологии.

Океаны, их строение и происхождение

Океан (греч. — «беспредельное море») — крупнейший структурно-геологический и геоморфологический элемент земной поверхности, который противопоставляется материку. В географии это элемент гидросферы и самый глубокий участок 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 прошлого. Океаны вместе с материками составляют важнейшие глобальные структурные элементы земной коры.

В пределах 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 и зоны 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 гранито-гнейсового, 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.

Региональные (глубинные) разломы и кольцевые структуры

Платформы и складчатые сооружения обычно разграничены и осложнены различного рода крупными разрывными нарушениями, региональными разломами, которые в течение последнего столетия являются предметом детального и специального изучения геотектоники. Дистанционные и структурно-геологические исследования позволили выявить также особую группу структур, названных кольцевыми. Большое морфологическое и генетическое разнообразие всех этих структур требует специального их рассмотрения.

На существование крупных разрывов еще в конце XIX ст. обратил внимание А.П. Карпинский, выявивший на юге Восточно-Европейской платформы систему разломов, получившую затем название «линий» его имени. У. Хоббс (1911) отмечал, что горные хребты, впадины, очертания материков и другие направления основных черт рельефа определены первоначальной сетью разломов, названных им линеаментами. В дальнейшем различного рода зоны смятия, шовные структуры и другие линии выделялись во многих регионах. А.В. Пейве (1945, 1956) ввел понятие о глубинных длительно развивающихся разломах, которые начали активно изучаться в нашей стране.

К категории глубинных разломов были отнесены региональные разрывные нарушения или их системы, протяженность которых составляла сотни или первые тысячи км. Глубина их заложения обосновывалась отношением к ним многочисленных массивов основных, ультраосновных и отчасти кислых интрузивных пород, данными геофизических исследований, а также длительностью развития. Глубинные разломы в отличие от приповерхностных разрывов образуют зоны или пояса шириною от нескольких до первых десятков километров. Обычно они разграничивают блоки земной коры с разным геологическим строением, режимом и историей развития.

Схема классифицирования глубинных разломов чрезвычайно сложна. Их принято разделять на общекоровые, литосферные и мантийные, разрывы с разным преобладающим типом смещения (глубинные сбросы, взбросы, надвиги, сдвиги). Они могут быть одиночными или образовывать пары, примером которых могут быть разломы, разграничивающие рифты. В зависимости от структурно-геологического положения по отношению к складчатому сооружению они могут разделяться на пограничные, продольные, сквозные и поперечные, а также на разломы разного порядка.

Еще одной важной особенностью глубинных разломов принято считать то, что они образуют глобальную систему двух основных направлений. Такую систему назвали регматической сетью. Учение о глубинных разломах позволило обосновывать блоковое строение земной коры, что формировалось еще до начала представлений о литосферных плитах, а также одновременно с ними. Наконец, глубинные разломы вызвали большой интерес геологии не только потому, что они помогали расшифровывать историю развития тех или иных структур, но и в связи с принадлежанием к ним разнообразных полезных ископаемых.

Своеобразной группой материковых структур, вызывающей в последние десятилетия большой интерес, стали кольцевые структуры. Их название определяется формой, которая бывает также овальной или другой обычно замкнутой. Данная группа является очень разнообразной по своим размерам, происхождению, форме проявления. Большинство их выявлено по данным космического дешифрирования и затем подтверждено наземными исследованиями. Кратко охарактеризуем главные из них.

Наиболее выразительной группой таких структур являются астроблемы и метеоритные кратеры, которые представляют собой следы падения крупных космических тел. К настоящему времени насчитывается порядка 170 таких структур с размерами от 100 км до 25 м; из них около 20 имеют размеры более 20 км. Обычно метеоритный кратер представляет собой округлую структуру, окруженную приподнятым валом. Они заполнены ударной брекчией (импактиты и др.), залегающей на разрушенных породах фундамента. В центральной части наиболее крупных кратеров часто фиксируется центральное поднятие. Астроблемами называют структуры, утратившие признаки кратеров. Наконец, большая группа подобных кольцевых структур, иногда большого размера, получивших название нуклеары, в ряде случаев трактуется как возможные астроблемы.

Магматогенные кольцевые структуры могут быть плутоническими и вулканическими. Примерами первых могут быть Бушвельдский комплекс в Африке, Хибинский и Ловозерский плутоны на Балтийском щите и др. Размеры их иногда достигают 200 км. Порождаются такие структуры

магматизмом и проявляются округлым размещением интрузивных тел, кольцевыми дайками и др. формами. Вулканические кольцевые структуры весьма характерны для трапповых полей древних платформ. Много подобных структур размещается и в современных вулканических островных дугах. С коровым магматизмом часто связаны вулканотектонические депрессии, представляющие собой обширные мульдообразные прогибы округлой или овальной формы, которые часто сопровождаются радиальной системой разломов.

Весьма разнообразны тектоногенные и биогенные кольцевые структуры. Примером первых могут быть диапировые структуры округлой формы, присутствующие во многих солянокупольных бассейнах. К категории тектоногенных можно относить и некоторые маары, или небольшие воронки, образуемые в результате одноактного взрыва. Вероятно, близки к ним по своему происхождению трубки взрыва (кимберлитовые трубки, диатремы). Примером экзогенных кольцевых структур может быть рифовая постройка на мысе Казантип в Крыму.

Особую группу еще одних кольцевых структур Земли составляют нуклеары, которые представляют собой древнейшие овоидно-кольцевые системы. Они выявляются в результате дешифрирования космических снимков, специального картирования и геофизических исследований. Диаметр их может составлять 500–3800 км. К настоящему времени в пределах всех платформ выделено более 30 нуклеаров. Предполагается, что причиной их формирования была интенсивная метеоритная бомбардировка поверхности Земли около 4 млрд лет назад (как это установлено на других планетах).

Коровые складчатые и разрывные нарушения

В геотектонике основной целью изучения разрывных и складчатых деформаций является расшифровка тех движений, что их сформировали. Поэтому именно на решение таких вопросов направлены соответствующие схемы их классифицирования. Это достаточно большой раздел геотектоники, который включает рассмотрение кинематических и динамических условий образования складок, коровых разрывов, тектонических покровов (шарьяжей), планетарной трещиноватости, регматической сети разломов, тектонической расслоенности литосферы.

Образование складок обусловлено существующими в недрах условиями — нагрузкой вышележащих отложений, пластическими деформациями, физическими свойствами пород (вязкость и др.); именно последнее обстоятельство обуславливает интенсивность складчатости. Различают три основных морфологических типа — складки продольного изгиба, складки поперечного изгиба и складки течения. Каждому из этих типов складок присущ определенный характер перемещения вещества.

Геологические условия образования складок позволяют различать эндогенную и экзогенную складчатость. В первой выделяют группу покровных складок (складки чехла) и складок, развитых в метаморфических толщах. Среди первых различают складки регионального сжатия («глубинного диапиризма» по В.В. Белоусову, связанного с вертикальными перемещениями, или общим сжатием в результате подвига платформ под геосинклинальное выполнение). Выделяют также складки облекания, приразрывных, диапировых структур, гравитационных сколов и др. Глубинная складчатость,

развита обычно в докембрийских толщах, обуславливает формирование складок течения. Экзогенная складчатость образует подводно-оползневые деформации, складки уплотнения или осадочного облекания, глиаидислокации и др.

Коровые разрывы частично рассматривались в разделе структурной геологии. Среди них выделяют сбросы, взбросы, сдвиги, раздвиги, надвиги. Особый интерес вызывают тектонические покровы, или шарьяжи. Они имеют сложное строение (автохтон, аллохтон, пластины, тектонические окна и др.), сопровождаются формированием своеобразной «твердой смеси», названной меланжем. Такие структуры наиболее детально изучались в Альпах, Скандинавских каледонидах и Скалистых горах. Схема строения складчатых сооружений рассматривалась ранее; здесь можно лишь дополнить, что различают два основных их типа – окраинно-континентальные и межконтинентальные (коллизийные). Наряду с продольной, различают еще и поперечную складчатость.

Существование глобальной сети глубинных разломов позволяет обосновывать планетарную трещиноватость. Особый интерес вызывает лишь сравнительно недавно обоснованная тектоническая расслоенность литосферы (А.В. Пейве и др.). Изучение шарьяжей, сейсмического зондирования литосферы, анализа распределения очагов землетрясения на глубине позволило установить, что в литосфере существуют многочисленные поверхности раздела между породами с резко различными реологическими свойствами, вдоль которых происходит горизонтальное смещение одних пачек пород или геологических тел по другим, причем нередко на значительное расстояние. Такие представления, наряду с данными о системе разделенных глубинными разломами мегаблоков, могут рассматриваться как определенная альтернатива утвердившейся сейчас тектонике литосферных плит или быть каким-то ее дополнением.

Тектонические карты и принципы тектонического районирования

Составление тектонических карт преимущественно крупного и среднего масштаба является одной из операций, завершающих геологическое картирование. На таких картах, наряду с показом возраста выходящих на поверхность отложений, акцент делается на изображении структурно-геологических форм – разрывных и складчатых деформаций, возможном разнородном строении, которое будет положено в основу тектонического районирования и др. Вместе с тем, обзорные, региональные и глобальные тектонические карты должны рассматриваться как неперемнная основа геотектонического анализа.

Методика составления обзорных и мелкомасштабных тектонических карт ясна и понимается однозначно. Основу ее составляет возраст изображаемого складчатого сооружения; цветом показаны области каледонской, герцинской, альпийской и другой складчатости. Вместе с тем, единых представлений о количестве и возрасте орогенезов и циклов, глобальном или региональном характере их проявления нет. Отсюда возникают термины и представления о ранних и поздних каледонидах, разновозрастных мезозоидах, альпидах. Схема проявления геотектонических циклов будет рассмотрена в следующем разделе, и предложенной там терминологией и построениями можно пользоваться.

При изображении платформенных площадей по возможности на таких картах характеризуется структура и возраст их фундамента, осадочный чехол, крупнейшие нарушающие их деформации, а также рифтогены, структуры тектоно-магматической активизации (вулканические поля и плато, области эпиплатформенного развития и др.). В последние десятилетия на обзорных тектонических картах по возможности показываются границы литосферных плит и данные о характере перемещения по ним.

Наряду с общими тектоническими картами практикуется составление и специальных тектонических карт. Все они разделяются на глобальные, обзорные и региональные. Среди специальных тектонических карт принято выделять палеотектонические (составляются для отдельных интервалов истории), структурные (со снятым осадочным чехлом, изображением строатизогипис), неотектонические. В последнее время широкое распространение получило составление космотектонических карт, основная информация для составления которых получена при анализе космических снимков. Еще одним примером такой специальной карты может быть карта (схема) мгновенной кинематики плит, на которой показаны их границы с направлением смещения и скорости (обычно см/год). Разновидностью специальных тектонических карт могут считаться карты палинспастических реконструкций, показывающие горизонтальные перемещения в системе формирующихся складчатых сооружений.

Методы изучения тектонических движений

Методы изучения тектонических движений, составляющие важную часть геотектоники, весьма разнообразны. Частично эти вопросы будут рассматриваться в исторической и региональной геологии. Здесь мы лишь перечислим или кратко охарактеризуем их. Традиционно тектонические движения разделяются на две группы: деформационные, проявленные формированием разрывных и складчатых нарушений, и колебательные. Те и другие выявляются в процессе геологического картирования и дальнейшего обобщения и анализа данных соответствующих карт. Геотектонику интересует в основном региональная складчатость, результатом проявления которой является формирование складчатых сооружений, смена во времени тектонических (эндогенных) режимов.

Геологические условия образования разрывов и складок рассматривались нами ранее. Здесь мы попробуем сформулировать лишь общую схему развития деформаций, главным образом складчатости. Принято различать эндогенную складчатость, рожденную глубинными процессами и энергией, и экзогенную. Среди первой различают покровную складчатость, в составе которой выделяют складки регионального сжатия, складчатость регионального сжатия на платформах, складки облекания и гравитационного скольжения, диапировые и приразрывные складки. Особой группой деформаций считают кливаж, проявленный параллельной трещиноватостью. Глубинная складчатость проявлена главным образом в породах фундамента, метаморфических образованиях. Это сложная группа деформаций, требующая дальнейшего изучения. В ее составе выделяют складки окаймленных куполов, дисгармоничную и наложенную складчатость и другие формы проявления деформации.

Экзогенная складчатость представлена подводно-оползневыми складками, складками осадочного облекания, уплотнения, оседания, выпирания

и др. Особую группу составляют глициодислокации, образование которых обусловлено напором движущихся материковых льдов.

Особый интерес в геотектонике вызывает проблема тектонических покровов, или шарьяжей. Это разновидность крупного пологого или волнистого надвига с перемещением в десятки и даже сотни километров. Начало их изучения относится к 1880-м гг.; они первоначально выявлены во Французских Альпах. Однако выявление их в отдельных складчатых сооружениях не всегда признается однозначно. Среди других направлений изучения крупных горизонтальных перемещений нужно назвать методы палеомагнитных и палинспастических реконструкций, о которых будет говориться в исторической геологии. Речь в этом случае идет о попытке восстанавливать характер перемещения литосферных плит по данным определения магнитного полюса прошлого, а также установить ширину морского или океанического бассейна на месте нынешнего складчатого сооружения путем расчетного «распрямления» его складок.

Расшифровка условий проявления колебательных тектонических движений — обычно более понятный и даже наглядный процесс. Среди главных методов расшифровки такого тектогенеза — метод мощностей, когда о темпах и масштабах вертикальных перемещений судят по величине накопившихся отложений, а также формационный анализ. Последний осуществляется путем составления карт формаций и выяснения конкретных тектонических режимов в период времени накопления тех или иных комплексов отложений. Особо важное значение для выявления каких-то эпизодических проявлений тектогенеза имеет установление формационного несогласия, которое предполагает резкую региональную смену условий осадконакопления и типов формации в вертикальном разрезе.

Особо много вопросов вызывает расшифровка условий образования флиша и флишоидов. Это достаточно широко распространенные образования подвижных тектонических структур. В последние десятилетия установлено, что главной причиной их накопления были не колебательные тектонические движения, меняющие глубину бассейна, а образование эпизодически проявленных мутьевых потоков, которые обусловлены периодическими энергетическими воздействиями, вызывающими своеобразные «вздрагивания», результатом чего становился снос грубообломочного материала. А уже в процессе дальнейшей седиментации появлялась закономерная слоистость, которую изучает литология, историческая геология, геотектоника. В такой трактовке флиш является продуктом тектонических движений, аналогичных региональным землетрясениям.

В расшифровке флишенаккопления сложным является решение вопроса о природе седиментационной периодичности или даже ритмики. Изучение флиша и флишоидов позволяет выявлять определенные повторения примерно через 100 тыс. лет (например, в донецком карбоне), через 6,5 тыс. лет для мел-палеогенового флиша Кавказа и Карпат и другие кратные им значения. Аналогичное строение флишевых разрезов верхнего палеозоя и мезокайнозоя, формирующихся на протяжении длительного времени, позволяет утверждать, что эндогенная энергетика не может обеспечить такое явление. Для ее обоснования необходимо привлекать данные механики и кинематики небесных тел, которые геология решить самостоятельно не в состоянии. Это может сделать лишь астрономия, для которой должны быть представлены обоснованные геологические данные.

Структурно-геологическая позиция флишевых толщ в складчатом сооружении может рождать много вопросов, которые также должна решать геотектоника. Например, мел-палеогеновый флиш Карпат на северо-востоке своего размещения почти вплотную примыкает к площадям развития карбонатных и других морских фаций, знаменующих совершенно иные условия своего формирования. Поэтому для обоснования мест поступления огромных масс обломочного материала нужно предполагать существование протяженных островных дуг на участке альпийско-карпатской части Тетиса, откуда он мог сноситься. Аналогичные вопросы возникают при попытке расшифровать источник обломочного материала в донецком карбоне.

Тектонические движения: развитие их во времени

Общие представления о тектонических движениях, в том числе схема их деления, рассматривались в соответствующем разделе динамической геологии. В этой части геотектоники мы рассмотрим тот тектогенез, который может быть отнесен к категории глобального, с позиции закономерностей развития его во времени, возможности межрегиональной корреляции. Следует подчеркнуть, что датировка большинства проявлений этого тектогенеза, хронология тектонических движений может считаться в числе наиболее запутанных и совершенно по-разному понимаемых вопросов геотектоники. Поэтому здесь изложена лишь одна из точек зрения, в каком-то отношении принципиально новая и, вероятно, наиболее обоснованная и перспективная.

Среди большого количества проявлений тектогенеза во времени можно различать три основные его группы: 1) кратковременный или даже геологически мгновенный эпизодичный тектогенез, примером которого может быть тектоническая фаза; 2) эпохи различной тектонической подвижности, интервалы времени с разным режимом тектогенеза в большинстве подвижных систем, которые могут проследиваться в глобальном масштабе; 3) геотектонические циклы, которые представляют собой закономерное проявление и сочетание разных тектонических режимов, результатом чего является формирование определенных складчатых сооружений. Среди эпизодичного тектогенеза, кроме обычных тектонических фаз, следует выделять ту их разновидность, за которой в последнее время закрепилось название структурно-геологической перестройки. Все эти понятия прочно утвердились в геотектонике, хотя по вопросу о характере развития их во времени и геологической сути существует большой разнобой мнений.

Изучение тектонических движений имеет почти двухвековую историю, о чем уже говорилось при рассмотрении развития геологии. Вместе с тем, наши нынешние представления мало отличаются от положений и взглядов, формулировавшихся М. Бертраном (1886—1887), Г. Штилле (1924) и Н.С. Шатским. Разнобой во мнениях заключается в том, что отсутствуют единые представления о продолжительности проявления основных форм тектогенеза, а также возможности межрегиональной и глобальной их корреляции. Все это нужно хорошо представлять при изучении тектонических движений, использовании терминологии данной науки.

Тектонические фазы. Введение этого понятия и термина в активное использование связывается обычно с именем Г. Штилле (1924). Суть сформулированного им «орогенного закона времени (канона)» заключается

в том, что развитие Земли состоит, по его представлениям, из чередования длительных периодов относительного покоя («эволюционных периодов») с кратковременными и резко проявленными деформациями, своеобразными «орогеническими эпохами, или фазами», в течение которых имел место орогенез (горообразование, складкообразование). Такие эпохи (фазы) фиксируются угловыми несогласиями; проявление их было одновременным в глобальном масштабе, а количество строго ограничено.

Такие идеи первоначально нашли широкое распространение, так как облегчали систематизацию и анализ регионального структурно-геологического материала, позволяли осуществлять межрегиональную корреляцию тектонических движений. Однако очень скоро стали появляться данные, не укладывающиеся в сформулированный Г. Штилле канон. Так, в ряде областей были установлены угловые несогласия в периоды, рассматриваемые им как «анорогенные». В отдельных геологических системах иногда фиксировались десятки угловых несогласий, осуществлять корреляцию которых даже в пределах одного региона было просто невозможно. Многими исследователями (Л. Кобер, М.А. Усов и др.) подчеркивалось, что более обоснованное выделение подобных фаз может осуществляться по данным формационного анализа. Эти и другие представления, а также использование термина «фаза» в самом различном смысле привели к потере интереса к такой в целом очень продуктивной идее. И соответственно, разделили специалистов на тех, кто верил в возможность корреляции данной формы тектогенеза или категорически отрицал ее.

Выходом из такого положения может быть трактовка тектонической фазы, предложенная В.О. Соловьевым (1984, 1992), которую следует понимать как рубеж, границу тектонических (седиментационно-палеогеографических, тектоно-магматических и др.) режимов, фиксируемых в разнородных структурах и подвижных областях. Такое понимание ее как переломного, геологически мгновенного процесса ближе всего отвечает сути данного термина (греч. — «появление»). В качестве доказательства возможности существования подобных фаз приводится характеристика главных из них.

Штирийская тектоническая фаза (ТФ) — одно из основных проявлений альпийского тектогенеза, фигурировавшее в схемах почти всех исследователей. Название его дано по Штирийским Альпам. Фаза проявлена на рубеже среднего и позднего миоцена (иногда уточняется — имеет предсарматский возраст) и может быть датирована значениями 13 ± 2 млн лет. Начинает собственно альпийский орогенез и может рассматриваться как начало новейшего этапа развития Земли. Кроме интенсивной складчатости в Альпах, Карпатах и на Кавказе характеризуется обширными сводовыми вздыманиями во многих регионах Азии и активным эпиплатформенным орогенезом на Тянь-Шане, Памире, восточной окраине Африки, других регионах. Ее возрастным аналогом может быть гималайский орогенез и метаморфизм (фаза), вторая карпатская, алеутская и другие синхронные проявления тектогенеза.

Пиренейская ТФ также входит в список главных движений схем Г. Штилле, С. Бубнова и др. Первоначально предполагалось ее проявление между эоценом и олигоценом; по уточненным позднее представлениям (Ж. Гогель, 1969; Г. Муравски, 1980 и др.) она должна быть отнесена к рубежу среднего и позднего эоцена, лютетского и бартонского веков и датирована

значениями около 40 ± 2 млн лет. Эта фаза начинает эпоху активных среднекайнозойских дифференцированных тектонических движений, что позволяло многим исследователям включать ее в альпийский геотектонический цикл. Ее возрастными аналогами может считаться триалетская фаза Кавказа, журавская фаза Скифской плиты, илларийская фаза Центральной Европы, предкузнецовская в Сихотэ-Алине и ряд других менее известных гор.

Ларамийская фаза относится к числу наименее точно датированных тектонических событий, фиксируемых на границе мела и палеогена. Иногда уточняется, что оно имело место в конце маастрихта и абсолютный возраст его 65 ± 2 млн лет. Для фазы характерно резкое сокращение морских площадей, снижение скоростей осадконакопления в депрессионных структурах, проявление частых седиментационных перерывов. По времени она совпадает с одним из главных великих вымираний и знаменует прекращение накопления толщ писчего мела и начало траппового магматизма на плато Декан (Индостан), который иногда рассматривается как наиболее грандиозный. Возрастными аналогами ларамийской фазы могут быть камчатская, фаза Идзуми в Японии, поздненеишаньская в Китае.

Средиземноморская ТФ в схемах Г. Штилле и большинства других исследователей отсутствует. Вместе с тем, ее считают одной из наиболее выразительных в Восточных Альпах и Западных Карпатах, где она проявлена складкообразованием, эпизодичным метаморфизмом с возрастом 90 ± 2 млн лет, сменой характера осадконакопления. Возраст ее уверенно определяется как туронский, а седиментационные изменения могут рассматриваться как глобальные. В частности, именно с позднего турона начинается накопление писчего мела, орогенез в Сихотэ-Алине и многие другие переломные события, что позволяет относить ее к числу одной из наиболее выразительных структурно-геологических перестроек фанерозоя. Синхронный тектогенез именуется иногда как предгозауский (внутригозауский), субгерцинский, эоальпийский, фазы ильседская и санталючийская в Кордильерах, движения поздней Сакавы в Японии.

Австрийская ТФ фигурирует в схемах многих исследователей, но скольконибудь точная датировка ее отсутствует. Обычно этот тектогенез относят к рубежу раннего и позднего мела; Г. Штилле говорит о двух ее субфазах. Вероятно, можно говорить о двух самостоятельных фазах, проявленных примерно 100 ± 2 млн лет назад: позднеавстрийской альбского возраста и раннеавстрийской с возрастом 117 ± 2 млн лет. Наиболее выразительным отражением первой из них может быть начало обширной альбской трансгрессии и резкая кратковременная активизация магматизма в пределах Охотско-Чукотского вулканического пояса. Середина раннего мела знаменует затухание дифференцированного тектогенеза, сокращение масштабов угленакопления в Азии, начало частых трансгрессий и регрессий. Возрастным аналогом позднеавстрийской фазы является хинганская в Китае, каракорумская, мариинская в Кузбассе, складчатость ранней Сакавы в Японии. Раннеавстрийскому тектогенезу может соответствовать манинская фаза в Карпатах, догозауская в Альпах, анадырская на Дальнем Востоке, Кабес-Пойнт в Пуэрто-Рико.

Новокиммерийская (юная киммерийская) ТФ также выделяется почти всеми исследователями и иногда разделяется на три субфазы или самостоятельные фазы. Она проявлена на рубеже мела и юры или в середине ти-

тонского века и может определяться значениями 143 ± 2 млн лет. Знаменует возрастание скоростей осадконакопления в депрессионных структурах, активизацию орогенного вулканизма в мезозоидах Тихоокеанского пояса, начало интенсивного угленакопления на Дальнем Востоке. Иногда она сопоставляется с невадийской, андской и колымской фазами (тектогенезом), а также движениями Ога в Японии.

Яйлинская ТФ в схемах западноевропейских исследователей отсутствует, хотя это также одно из наиболее выразительных проявлений тектогенеза. Название получила по пологим водоразделам в Крыму, именуемым яйлами. Возраст ее может определяться как середина келловоя (167 ± 2 млн лет). Иногда ее разделяют на две самостоятельные, проявленные в начале и конце келловоя; однако обоснованных данных для такого разделения нет. Она начинается киммерийский (раннеальпийский) орогенез и проявляется резкой сменой условий осадконакопления во многих структурах, сокращением его скоростей, началом частых трансгрессий и регрессий, красноцветной седиментацией в Юго-Восточной Азии. Резкие изменения тектоно-палеогеографических условий на этом возрастном уровне позволяют трактовать ее как келловейскую структурно-геологическую перестройку. Ее возрастными аналогами могут быть адыгейская и чегемская фазы на Кавказе, агассиская и колумбийская фазы в Канаде, Тэбо-Тайхо в Корее, Хида (Тетори) в Японии.

Донецкая ТФ отсутствует в схеме Г. Штилле, но позднее была выделена С. Бубновым (1934) именно под таким названием. Предполагается ее проявление на рубеже среднего и позднего лейаса; она имеет несколько условный возраст 195 ± 5 млн лет. Иногда ее разделяют на первую и вторую донецкую фазы, но достаточных оснований для такого разделения нет. Тектогенез характеризуется началом активизации прогибаний в ряде депрессий и подвижных областей (Кавказ и др.), которые сменили этап их затухания с конца триаса — начала юры; местами с этого возрастного уровня начинается угленакопление. Ее возрастными аналогами могут быть фазы: тутуясская в Сибири, атласская, далнапская, Сакатекас в Мексике, Хида (Тетори) в Японии, Ыйчжоу в Корее.

Лабинская ТФ также заимствована из схемы С. Бубнова (1934). Название она получила по р. Лаба на Кавказе. Проявлена на рубеже среднего и позднего триаса (иногда уточняется — в конце ладинского или начале карнийского веков); абсолютная датировка принимается как 220 ± 5 млн лет. Знаменует начало формирования наложенных депрессий, преимущественно сероцветной седиментации во многих регионах Евразии, сменившей обширное накопление красноцветов, местами незначительного по масштабам угленакопления, активизацию дифференцированных тектонических движений.

Сихотэалинская ТФ обоснована как самостоятельная сравнительно недавно (И.Ф. Лапкин, В.О. Соловьев, 1969). Проявлена в конце перми, вероятно, на рубеже казанского и татарского веков или в середине (первой половине) последнего. Подчеркивается, что она моложе пфальцской фазы, фигурирующей во всех типовых схемах тектогенеза и предполагающейся на границе перми и триаса. Тектонотипом фазы послужило формационное и угловое несогласие, установленное в Юго-Западном Приморье (А.И. Бурого, В.О. Соловьев, 1965), где ее выделение хорошо обосновано

палеонтологическим и структурно-геологическим материалом. Уверенно прослеживается во всех основных регионах Евразии, что позволяет трактовать ее как позднепермскую структурно-геологическую перестройку. Абсолютная датировка может приниматься как 247 ± 2 млн лет.

Заальская ТФ фигурирует практически во всех схемах, и разногласия могут возникать лишь по ее датировке. Г. Штилле помещал ее между нижним и верхним красным лежнем (отеном и саксонием); у С. Бубнова она проявлена между ранней и средней пермью. Поскольку в стандартной и отечественной шкале пермь делилась лишь на два отдела, данную фазу располагали на рубеже ранней и поздней перми, что следует считать ошибкой. Уточнение возраста позволило отнести ее проявление ко второй половине артинского – к началу кунгурского веков и определять значениями 273 ± 5 млн лет. Данный тектогенез фиксируется практически во всех регионах Евразии и других материков и проявлен резким возрастанием скоростей осадконакопления в депрессионных структурах, началом нового активного угленакопления в бассейнах Азии, местами накоплением соленосных отложений по окраинам Восточно-Европейской и Северо-Американской платформ. В герцинидах и подверженных орогенезу областях (Средняя Азия, Кавказ, Приморье, Центральный Казахстан, Урал, Англия) на этом возрастном уровне устанавливается статистический максимум гранитоидного магматизма.

Астурийская ТФ приводится в построениях почти всех исследователей. Первоначально Г. Штилле и С. Бубнов предполагали ее проявление между вестфалом и стефаном, что примерно отвечает рубежу среднего и позднего карбона стандартной стратиграфической шкалы, а также дисмойнскому и миссурийскому ярусам пенсильвания Северной Америки и значению 300 ± 5 млн лет. Ее литологическим отражением следует считать прекращение угленакопления и начало красноцветной седиментации в бассейнах Европы, резкое уменьшение темпов прогибания, а также сокращение морских площадей и четко проявляемый статистический максимум гранитоидного магматизма в герцинидах. Возрастным аналогом данной фазы можно считать куньминьскую фазу Китая, движения Сетамай в Японии и арбульскую фазу Северной Америки.

Судетская ТФ также фигурирует во всех схемах, проявлена между диантом и силезием западноевропейской стратиграфической шкалы и считается главной начальной фазой герцинского орогенеза. Название дано по Судетам, где выделен ее тектонотип. Выражена складкообразованием, резкой сменой условий осадконакопления и началом активного гранитоидного магматизма в Центральной Европе, на Кавказе, Урале, что позволяет уверенно датировать ее значениями 325 ± 2 млн лет. Самой важной особенностью данной фазы следует считать резкую смену литологического состава разрезов, формационное несогласие, фиксируемое практически во всех регионах Евразии и на других материках, что позволяет трактовать ее как визейскую структурно-геологическую перестройку. Наиболее точная датировка формационного несогласия произведена на Донбассе, в Западной Европе, Северной Америке, Верхоянье, что позволяет относить проявление тектогенеза к позднему визе, границе веневского и михайловского времени (горизонтов). В Центральной Европе эта фаза выделяется иногда как силезско-донбасская, в Кузбассе как кондомская, на Дальнем Восто-

ке как преднеруинский тектогенез, в Японии как движения (складчатость) Сидзу.

Бретонская ТФ предполагалась Г. Штилле и другими исследователями на границе девона и карбона. С. Бубнов (1934) разделил ее на три самостоятельные субфазы, проявленные в течение этрена-турне. Она условно может быть датирована значениями 350 ± 5 млн лет; седиментационно-палеогеографическим проявлением ее можно считать затухание дифференцированных тектонических движений, начало великой визейской трансгрессии и накопление однотипных морских отложений во многих подвижных областях (например, в Донбассе, Аппалачах, Верхоянье). В Японии предположительно синхронные движения имеют название Тасиро-Ясики.

Тельбесская ТФ отсутствует в построениях западноевропейских исследователей, но фаза и цикл с таким названием есть в схеме М.А. Усова (1936). Она размещается в середине среднего девона и может определяться значениями 375 ± 5 млн лет. В схеме Г. Муравски (1980) на этом возрастном уровне фаз нет, но есть рёйсская и оркадская фазы, разграничивающие средний девон. Тектогенез проявлен активизацией дифференцированных тектонических движений, сменой условий осадконакопления, а также началом обширного рифтогенеза в Евразии. Условным возрастным аналогом фазы могут быть движения Кесен в Японии и таббераберанские в Австралии.

Эрийская ТФ фигурирует в схемах почти всех исследователей и предполагается на границе силура и девона или может быть более молодой (между даунтоном и зигеном, по С. Бубнову). Это позволяет условно датировать ее значениями 400 ± 5 млн лет. Ее возрастным аналогом может считаться арденская фаза, которая часто рассматривается как самостоятельная. Трактуются как главная складчатость позднекаледонского орогенеза или как его начало. Резкие литологические изменения прослеживаются на границе силурийской и девонской систем, что позволяет рассматривать данную фазу как еще одну структурно-геологическую перестройку.

Таконская ТФ также показана в схемах разных исследователей, однако по установлению ее возраста существуют большие разногласия. Она помещена на границе нижнего и верхнего силура у Г. Штилле, в готландском отделе у С. Бубнова, между силуром и ордовиком у Г. Муравски, считается как среднеордовикская у Г. Рида и Дж. Уотсона (1981). Наиболее резкое изменение литологического состава разреза фиксируется на границе лландоверского (лландейлского) и лланвирнского ярусов среднего ордовика, которые и следует считать проявлением этой фазы. Ее же следует трактовать как начало раннекаледонского орогенеза. Большая информация существует по проявлению метаморфизма и гранитоидного магматизма в Аппалачах, где выделяется большое количество значений их возраста; чаще всего устанавливается статистический максимум с возрастом 480 ± 5 млн лет, который и целесообразно отнести к данному тектогенезу, считать его индикатором. Возрастным ее аналогом можно считать грампианскую фазу.

Салаирская ТФ проявлена предположительно в конце раннего кембрия. Ее нет в схеме Г. Штилле, а у С. Бубнова одновозрастный тектогенез назван испанскими движениями. Вместе с тем, у М.А. Усова (1936) выделяется салаирский цикл тектогенеза, охватывающий почти весь кембрий. К середине кембрийского периода относит эту фазу Г. Муравски. Наиболее резкие литологические изменения в разрезах фиксируются на границе нижнего

и среднего кембрия, а отчетливый статистический максимум магматизма или его инверсия имеет возраст 550 ± 5 млн лет. Именно такую датировку для этой фазы дает Г.П. Леонов (1985). Седиментационно-палеогеографические изменения на этом возрастном уровне позволяют трактовать их как еще одну структурно-геологическую перестройку.

Структурно-геологические перестройки можно рассматривать как неравнозначность тектонических фаз, в результате проявления которых коренным образом меняется структурный план развития подвижных областей, характер седиментационно-палеогеографических обстановок, тип магматизма. Подобные преобразования зачастую разделяют те режимы, которые именуют геосинклинальными, орогенными, платформенными. Поскольку с ними часто связано начало расколов материковых площадей, раскрытие океанов или наоборот, их ликвидация, можно говорить, что проявление данного тектогенеза является следствием резкого изменения режима движения литосферных плит, в том числе направления и скорости их перемещения.

Наиболее детально изученной и самой выразительной может считаться визейская (поздневизейская) структурно-геологическая перестройка. Классическим примером ее проявления могут считаться преобразования, начавшие формирование верхоянского терригенного комплекса на Северо-Востоке. Синхронная граница наиболее существенных литологических изменений может быть проведена между нуруинским и магарским горизонтами верхнего визе. Такого же типа изменения устанавливаются между донецким и грабовским горизонтами в Донбассе, каменноугольным известняком и сланцами Боулэнд в бассейнах Южной Англии, известняками Мерамек и сланцами Честер в Северной Америке.

Синхронная, но противоположная по своему литологическому характеру седиментационно-палеогеографическая граница фиксируется в структурах Юго-Восточной Азии, где терригенный средний палеозой, местами континентальный, сменяется карбонатным верхним палеозоем. В Японии это граница между сериями Одайра и известняками Онимару; однотипные изменения в Южном Китае и Индокитае не могут быть датированы с той же точностью и не имеют единого унифицированного наименования, однако проявлены аналогично. В Средней Сибири карбонатный средний палеозой сменяется терригенным угленосным верхним палеозоем, а в депрессионных структурах Средиземноморского и Урало-Монгольского поясов выше геосинклинальных комплексов среднего палеозоя залегает континентальный терригенный верхний палеозой. Седиментационно-палеогеографические изменения в областях названных поясов сопровождаются активным орогенным магматизмом. Аналогичное явление имеет место в прогибах Африки и Восточной Австралии (Кару, Тиндиф, Тимимун, Карнарвон и др.).

Анализ характера данных изменений показывает, что начало орогенеза в одних тектонических системах совпадает с установлением прогибания миогеосинклинального типа в других (Донбасс, Верхоянье), а также поступлением в эти структуры продуктов разрушения воздымающихся площадей. Кроме седиментационно-палеогеографических преобразований следует подчеркнуть идеальное совпадение начала гранитоидного магматизма на Урале, Кавказе, отдельных системах Европы и Северной Америки, которые определяются значениями 325 ± 2 млн лет.

Сходное проявление характерно для позднепермской структурно-геологической перестройки, которая отвечает времени сихотэалинской фазы. В отличие от поздневизейских преобразований, обусловивших создание Пангеи, позднепермский тектогенез начал ее разрушение, что нашло отражение в формировании субмеридиональной и северо-западной систем рифтов. Их образование сопровождалось грандиозными излияниями базальтовых лав на севере Евразии (сибирские траппы); на юге одно из продолжений рифтов можно предполагать в Мозамбикском проливе, что позволяет связывать с данным рифтогенезом начало раскрытия Индийского океана.

В пределах Средиземноморского подвижного пояса проявление перестройки обусловило начало устойчивого существования морских бассейнов (океана Тетис). Вдоль восточной окраины Азии с этими позднепермскими преобразованиями связано начало формирования индосинид либо зон ранней консолидации в Сихотэ-Алине и Верхояно-Чукотской области. Следует подчеркнуть принципиальное отличие сихотэалинской фазы, фиксирующей позднепермский тектогенез, от заальской и лабинской, которые проявлены резкой активизацией прогибаний в уже существующих депрессиях, но не фиксируют сколько-нибудь значительной перестройки структурного плана развития и условий осадконакопления. Таким образом, именно позднепермская перестройка подготовила нынешний план развития литосферных плит и строения материков.

Келловейская структурно-геологическая перестройка продолжила формирование ранее намечившегося плана развития структур Земли. Она может рассматриваться как начало образования и устойчивого разрастания (раскрытия) так называемых молодых океанов — северной части Атлантического, Северного Ледовитого и Индийского. В отдельных зонах Средиземноморского и более широко в Тихоокеанском поясах келловейский тектогенез начал формирование мезозойских складчатых сооружений, получивших название киммерид в Средиземноморье (Горный Крым и др.), невадид в Кордильерах Северной Америки, памирских сооружений, иеньшаньских (яньшаньских) в Китае и Японии и верхоянских на Северо-Востоке. Данная перестройка обусловила также резкие изменения условий осадконакопления — начало устойчивых прогибаний и терригенной седиментации в Западной Сибири, обширного накопления красноцветов в Юго-Восточной Азии, формирования орогенных комплексов в молодых складчатых сооружениях.

Туронская структурно-геологическая перестройка, отвечающая времени проявления средиземноморской тектонической фазы, знаменовала начало развития океанического бассейна в Южной Атлантике, а также формирования складчатых сооружений в Тихоокеанском поясе. Классическим его примером может быть Сихотэ-Алинская складчатая область, где эта инверсия режимов точно датирована. Она же начинает ларамийскую складчатость Кордильер. Наиболее точная датировка и резкая литологическая смена (формационное несогласие) устанавливается в Днепровско-Донецкой впадине, где данный тектогенез совпадает с началом формирования толщ писчего мела и других карбонатных комплексов в сооружениях Средиземноморского пояса и на прилежащих платформенных областях, активным флишеннакоплением в Альпах и Карпатах.

Миоценовая структурно-геологическая перестройка, совпадающая со штирийской тектонической фазой, имела место сравнительно недавно (10–15 млн лет назад). Поэтому характер данных преобразований в полной мере пока не может быть оценен и расшифрован. Она имеет существенные отличия от других мезозойских перестроек и чем-то напоминает позднепермские. К данному возрастному уровню может быть отнесена окончательная ликвидация океана Тетис и начало проявления альпийского орогенеза. Причем в воздымания вовлекаются и области более древней консолидации (Тянь-Шань, Памир и др.), что позволило обосновать существование эпиплатформенного горообразования. Орогенный магматизм в азиатской части Тихоокеанского пояса сменяется обширными наземными излияниями базальтовых лав. С данной перестройкой можно связывать начало формирования островных дуг, которые являются своеобразными аналогами современных геосинклиналей, а также рифтогенез в Центральной Европе и вдоль восточной окраины Африки.

Более древние раннепалеозойские перестройки пока не могут быть охарактеризованы и обоснованы столь же детально. Результатом пограничных силурийско-девонских преобразований на рубеже этих периодов (эрийская – арденская фаза) стало закрытие Северной Атлантики, ликвидация океана Япетус. Это нашло отражение в формировании здесь каледонских складчатых сооружений или поздних каледонид, а на больших прилегающих площадях – красноцветов, получивших название древнего красного песчаника (Old red stone). Данное историко-геологическое явление оказало важное воздействие на развитие органического мира, обусловив выход на земную поверхность растений и животных. Формирование подвижных областей перемещается с этого времени в пределы Урало-Монгольского и Средиземноморского поясов. А обширная в раннем палеозое карбонатная седиментация перемещается на восток Азии (Сибирская платформа и др.).

Кембрийская структурно-геологическая перестройка, одним из проявлений которой может быть салаирская фаза и которая начинала салаирский орогенез, намечалась еще в построениях М.А. Усова (1936), М.К. Коровина (1941), В.В. Белоусова (1948) и др. Более обоснованно в качестве фазы для Алтае-Саянской области она выделена впоследствии (М.Ф. Романенко, 1967; В.С. Сурков и др., 1971). В исследованиях В.М. Цейслера (1987) для ее обоснования и датировки был использован формационный метод, который показал важную роль этого орогенеза, не уступающего по масштабам байкальскому и каледонскому горообразованию, четкое литологическое выражение и магматический контроль. Для данной перестройки также являются характерными противоположные по своему характеру седиментационные изменения: появление молассового комплекса в салаиридах и, наоборот, смена обломочных отложений карбонатным средним кембрием–силуром на юге Скалистых гор (Энциклопедия, 1980, с. 286).

Структурно-геологические перестройки, аналогичные таковым в фанерозое, могли проявляться и в докембрии. Одним из ее примеров может быть великое обновление по Г. Штилле, имевшее место между ранним и поздним протерозоем и датированное значениями 1,65 млрд лет. Он называл его рубежом между протогеем и неогеем и считал поворотным моментом

в истории Земли. После длительного гранитоидного магматизма, фиксировавшего оформление материка Пангея-1, начался активный базальтоидный вулканизм и формирование новых подвижных систем, закладывавшихся в ином структурном плане. Некоторые исследователи отмечали, что данная перестройка подобна той, что имела место в конце перми.

Рассмотренные перестройки необходимо отличать от обычных тектонических фаз. Так, в конце среднего триаса, ранней перми и середине девона имела место активизация прогибаний и осадконакопления во многих седиментационных бассейнах, но литологический состав формирующихся толщ был близким. Кроме того, структурно-палеогеографический план в эти моменты не менялся. В процессе же перестройки происходила не просто резкая смена состава накапливающихся отложений (формационное несогласие), но и резко проявленное площадное перераспределение однотипной седиментации. Можно утверждать, что обычно они отвечают границам платформ, которые определяются как геосинклинальные, орогенные, платформенные. Эти преобразования следует также отличать от кратковременных тектономагматических кульминаций, седиментационных перерывов, активизации складкообразования, трансгрессий и регрессий, то есть всех тех проявлений, что характерны для обычных тектонических фаз.

Данные структурно-геологические перестройки характеризуются региональной или даже глобальной сменой типа магматизма. Например, визейская перестройка, начинающая герцинский орогенез, проявлена обширными наземными излияниями преимущественно кислых лав и внедрением гранитоидов в самых различных областях Средиземноморского и Урало-Монгольского складчатых поясов. Сменившие в конце перми сиалический орогенный магматизм наземные излияния базальтоидных лав, которые известны в герцинидах Европы, Северного Урала и многих других регионов, знаменуют еще одну подобную инверсию эндогенных режимов. Такой вулканизм Г. Штилле в свое время называл финальным, завершающим процесс формирования складчатого сооружения. Но такие вулканы часто распространены вдали от герцинид, например, на Таймыре или в пределах Сибирской платформы. То же можно сказать и о новейших базальтоидных излияниях, которые не только завершают орогенез в Сихотэ-Алине, но и фиксируются во многих платформенных регионах Восточной Азии. Подобные региональные инверсии тектонических режимов, фиксируемые сменой типа магматизма, в свое время описывались как тектоно-магматические рубежи (В.О. Соловьев, 1985, 1990 и др.).

Необходимо подчеркнуть еще одну особенность структурно-геологических перестроек. Формирующие их смены тектонических режимов образуют отчетливо проявленный ритм, повторяющийся через 75–80 млн лет. Такое явление, учитывая обоснованность данной ритмичности, позволяет уточнять датировку многих из них. А также, исходя из этого, искать не глубинные геологические, а космические объяснения причины смены режимов, которые и определяют геодинамику литосферных плит. Наглядным и очень убедительным подтверждением такой связи может быть отчетливое совпадение возраста тектонических фаз и времени формирования метеоритных кратеров, которое приводится в табл. 1.

Таблица 1. Корреляция тектонических фаз и времени формирования метеоритных кратеров

Тектонические фазы и их датировка (млн лет)	Синхронные метеоритные кратеры и их возраст (млн лет)
Штирийская, средний/поздний миоцен, 13±2	Рис, Штейнхем (14,8), Шунак (12), Каолинская (10)
Пиренейская, средний/поздний эоцен, 39±2	Беенчиме-Саатлинская (40±20), Уанапитей (38±2) Попигайская (38,9), Мистастин (38±4),
Ларамийская, маастрихт, 65±2	Каменская (71±2), Карская и Усть-Карская (60±5), Логанча (60±30)
Средиземноморская, турон, 91±2	Возможно, Болтышская (88±3 и 95±10), Стин-Ривер (95±7)
Позднеавстрийская, конец раннего мела, альб, 100±2	Сьерра Медера (100), Дип-Вей (100±5), Деллен (100±2), Вест Хок (100±50)
Раннеавстрийская, баррем/апт, 117±2	Миен (118±2), Карсуэлл (117±8), Зеленогайская (120)
Юнокимммерийская, юра/мел, 143±2	Возможно, Стронгвейс (150 ± 70), Ливерпуль (150±70)
Адыгейская, келловей, 167±2	Западная (165±5), возможно, Оболонская (160±30), Вяпрайская (160±30). Рошешуар (160±5 и 180±8)
Донецкая, средний/поздний лейас, 195±5	Ред Уинг (200), Уэллскрик (200±100)
Лабинская, поздний ладин, 221±5	Сьерра Кангала (220), Сен-Мартин (225±25), Пучеж-Катунская (230±10)
Сихотэалинская, татарский век, 247±2	Арагуаинха (250±50), Курская (250±80)
Заальская, поздний артин, 273±5	Возможно, Терновская (280±10)
Астурийская, средний/поздний карбон, 300±5	Кенгденд (300), Серпент-Маунд (300), Миддлсборо (300), Николсон (300±150), Клируотер (290±20)
Судетская, поздний визе, 325±2	Крукид-Крик (320±80), Терновская (330)
Бретонская, девон/карбон, 351±5	Слейд Айленд (350), Квебек (360), Сильян (365±7), Флинн Крик (360±20), Шарлевуа (360±25)
Тельбесская, средний девон, 377±5	Калужская (380)
Арденская, эрийская, силур/девон, 403±5	Ла Маунери (400±20), Ильинецкая (400±30), Луканга (400±100)

Эпохиразличнойтектоническойподвижностипонимаютсябольшинством исследователей более или менее однозначно. Уже само выделение Г. Штилле тектонических фаз, которые он называл эпохами, чередующимися с более спокойными периодами, подразумевало неравномерность развития тектогенеза во времени. Позднее подобные эпохи более детально изучали М.А. Усов, В.Е. Хаин, А.А. Пронин, В.П. Казаринов, В.И. Бгатов, Ю.Г. Леонов, Е.Е. Милановский и др. Интересно, что продолжительность каждой из подобных эпох принималась примерно одной и той же, равной около 25 млн лет. Вместе с тем, в такие представления необходимо внести некоторые уточнения.

Среди рассматриваемых подразделений тектогенеза можно выделять эпохи повышенной тектонической подвижности, которые характеризуют-

ся возрастанием средних скоростей прогибания и осадконакопления, более высокой дифференциацией рельефа, активизацией магматизма, появлением своих формаций (например, угленосных), формированием наложенных прогибов и впадин. Примерами таких эпох могут быть средний карбон, середина перми, поздний триас, середина юры, поздний мел, середина кайнозоя и др. Причем их аналогичное проявление характерно как для складчатых сооружений, так и для платформ.

Эпохи затухания тектонической подвижности характеризуются уменьшением средних скоростей прогибания и осадконакопления (примерно в 1,5 раза), преимущественно сводовыми воздыманиями, активизацией платформенного базальтоидного вулканизма, аридизацией климата и ростом красноцветной седиментации. По данным А.А. Пронина, к таким интервалам времени приурочены наиболее частые седиментационные перерывы и угловые несогласия, что может свидетельствовать об оживлении колебательных тектонических движений. Именно такие условия характерны для первой половины девона и раннего карбона, позднего карбона – начала перми, татарского века – среднего триаса, ранней и поздней юры, середины мелового периода, первой половины кайнозоя, новейшего этапа истории.

Границами таких эпох являются ранее рассмотренные тектонические фазы. Многие из этих рубежей совпадают с наиболее выразительными палеомагнитными инверсиями или весьма близки к ним. Вместе с тем разрастание или сокращение морских площадей, талассо- и геократические эпохи не обнаруживают обычно совпадения с эпохами разной тектонической подвижности, развиваясь в определенном отношении автономно. Анализ данного тектогенеза позволяет делать вывод, что правильнее говорить не о затухании или активизации тектонических движений, как это традиционно считается, а о существовании равновеликих интервалов времени с разным характером эндогенной подвижности.

Говоря о характере развития тектонических движений во времени, нужно напомнить, что в разное время многие исследователи предполагали пульсацию Земли. Среди них нужно назвать Е.Е. Милановского, В.П. Казаринова, М.А. Усова и многих других. Существование подобных эпох различающегося тектогенеза может быть одним из подтверждений таких представлений.

Геотектонические циклы начали изучаться практически одновременно со всеми другими проявлениями тектогенеза. Понимание их сущности является более или менее одинаковым. Это интервал времени или совокупность явлений, начинающихся с заложения геосинклинали (начала прогибаний геосинклинального типа) и завершающихся прекращением орогенеза, формированием горно-складчатого сооружения. В таком цикле существует две основные стадии, названные соответственно геосинклинальной и орогенной, которые разделяются сменой (инверсией, обращением) тектонического режима. Обычно такие преобразования четко фиксируются и могут точно датироваться в развитии большинства складчатых сооружений.

Следует подчеркнуть, что подобная тектоническая цикличность, закономерное повторение геосинклинальных и орогенных стадий, представляет собой универсальную черту историко-геологического развития, свойственную практически всем складчатым сооружениям или даже подвижным структурам земной коры. Формирование их представляет собой

постепенное скачкообразное наращивание зон и систем более ранней консолидации, которое завершается обычно всеобщим для всей области активным орогенезом, после которого соответствующая тектоническая структура на весьма продолжительное время теряет свою подвижность. А более молодая подвижная система закладывается обычно в ином структурном плане. Пространственно-временное развитие подавляющего большинства составных элементов практически всех складчатых сооружений может достаточно уверенно укладываться в предлагаемую схему циклического их формирования.

Возраст и продолжительность геосинклинальной и орогенной стадий развития в конкретных подвижных тектонических системах могут быть разными. Кроме отдельных складчатых сооружений, развивающихся по схеме какого-то одного стандартного цикла (каковых не очень много), большинство из них формируется в течение более продолжительного времени, нескольких стадий. В таком случае говорят о полициклическом развитии складчатой области или пояса. Однако в отдельных зонах или системах, а также на прилежащих платформенных площадях практически все стадии всех рассмотренных циклов могут быть выявлены, находят определенное вещественное (литологическое) или структурное отражение.

Примером структур, развивающихся в течение одного стандартного цикла, могут быть Южно-Монгольская система или Европейская область (герциниды Европы), образованные в течение герцинского цикла, Донецкое, Южно-Памирское или Индосинийское сооружения, становление которых отвечает индосинийскому циклу, Чукотская и Горно-Крымская системы, созданные киммерийским циклом и т. д. В этом случае говорят о моноциклическом развитии. Полициклическое развитие характерно для таких складчатых областей, как Альпийская, Карпатская, Кавказская, Сихотэ-Алинская, Японская (Ниппонская) и др. Причем на Кавказе могут выявляться зоны герцинской и киммерийской консолидации и собственно альпийского развития, в Сихотэ-Алине — зоны индосинийской консолидации и собственно сихотэалинского (ларамийского) развития и т. д.

Важнейшей особенностью геотектонической цикличности, на которую ранее обычно не обращали внимания, следует считать то, что геосинклинальной стадии одних складчатых сооружений может отвечать орогенез в других и наоборот. Такое явление хорошо объясняется с позиции тектоники литосферных плит, когда раскрытие одних океанов совпадает с ликвидацией других, схождением материковых площадей, на месте которых формируется складчатое сооружение. Исходя из таких данных, общая глобальная схема проявления геотектонических циклов должна иметь две возрастные шкалы. Предлагаемый ее вид приведен в табл. 2. Наименование циклов дается по наиболее принятым названиям соответствующих орогенезов.

В этой схеме границами циклов и их стадий приняты рассмотренные ранее структурно-геологические перестройки. Учитывая строго определенную повторяемость подобных перестроек через 75–80 млн лет, удается обосновывать равную продолжительность предлагаемых типовых (стандартных) циклов и их стадий, равную 156 и 78 млн лет соответственно. Следует подчеркнуть, что примерно такая же величина в 150 млн лет указывалась первоначально для продолжительности циклов на основании их изучения в типовых районах (Геологический словарь, 1955 и др.) и принималась

Таблица 2. Схема геотектонических циклов фанерозоя

Наименование циклов и их возраст (млн лет назад)			
90	Альпийский	IIIIIIII IIIIIIII	Новейший 13
		————— —————	Сихотэалинский
245	Киммерийский	IIIIIIII IIIIIIII	167
		————— —————	Индосинийский
400	Герцинский	IIIIIIII IIIIIIII	325
		————— —————	Позднекаледонский (тельбесский)
550	Раннекаледонский (таконский)	IIIIIIII IIIIIIII	480
		————— —————	Салаирский
710	Кадомский	IIIIIIII IIIIIIII	630
		————— —————	

Примечание: _____ – геосинклинальная стадия; IIII – орогенная стадия

большинством исследователей. То есть в предлагаемых построениях по возможности сохранена преемственность взглядов и терминов, а также произведена увязка их с другими имеющимися региональными данными.

Пространственно-временное проявление циклов четко коррелируется с этапами и схемами развития океанов. Это логично и вполне понятно, учитывая что складчатые сооружения обычно формируются на месте бывших океанов или их заливов (прибрежных морей), и геосинклинальная стадия циклов может рассматриваться как время существования палеоокеана. В этом смысле можно говорить о взаимосвязанности или сопряженности циклов Вильсона и циклов Бертрана, что было в свое время предметом специального рассмотрения (Хаин, 1990 и др.). Соответственно, время раскрытия океанов отвечает геосинклинальным стадиям, наиболее выразительным в пределах цикла складчатого сооружения пояса. А привычные орогенезы составляют основу циклов Бертрана.

Хотя в пределах одного и того же складчатого пояса или области может иметь место проявление разновозрастных циклов, существует и определенная их «площадная специализация». Так, для северо-западной части Средиземноморского пояса типичными являются герцинский и альпийский, а для юго-восточной – индосинийский и киммерийский, осложненные новейшим альпийским орогенезом. В пределах Атлантического и Урало-Монгольского поясов характерно проявление салаирского, ранне- и позднекаледонского, а для последнего еще и герцинского. Соответственно,

в западной части Тихоокеанского пояса самыми выразительными являются индосинийский, киммерийский, сихотэалинский (ларамийский), а также существование системы островных дуг, которые иногда рассматриваются как современные геосинклинали.

Неравномерность развития тектогенеза во времени, проявленная существованием эпох различной тектонической подвижности, не нарушает схемы геотектонических циклов. Данные эпохи являются более кратковременными, чем стадии цикла, поэтому они могут лишь обусловить разную выразительность тех или иных их интервалов. Это может быть причиной сложности датировки возраста отдельных циклов или каких-то границ в тех или иных системах. Поскольку продолжительность тектонических эпох составляет обычно порядка 25 млн лет, в течение каждой из стадий цикла имеет место проявление трех эпох различной подвижности тектогенеза.

Цикличность геотектонического развития определяет характер седиментационно-палеогеографических обстановок как в пределах развивающегося складчатого сооружения, так и на прилежащих платформах. Это важно в том отношении, что иногда формационный анализ платформенных площадей или пограничных структур (краевых прогибов) позволяет уточнять датировку геотектонического цикла или схемы развития складчатого сооружения. Геосинклинальная стадия может быть представлена как единым формационным комплексом (терригенный верхоянский комплекс в Верхояно-Чукотской области, терригенный флиш в Альпах, Карпатах, Горном Крыму, вулканогенно-кремнистый средний палеозой на Урале, Кавказе, Южно-Монгольской системе и т. д.), так и несколькими закономерно сменяющимися друг друга по площади и по разрезу формациями. В Донбассе это параллельные угленосные, выше красноцветные терригенные, затем карбонатные и соленосные образования. В Японии имеет место фациальное замещение карбонатного и вулканогенно-кремнистого верхнего палеозоя, а в герцинидах Европы, терригенного, карбонатного и вулканогенно-кремнистого среднего палеозоя, что положено в основу выделения миогеосинклинальных и эвгеосинклинальных зон складчатой области.

Это же относится и к литологическому составу орогенных комплексов, в котором могут присутствовать молассы, угленосные, красноцветные и соленосные образования, порфириновые и другие вулканогенные формации. Обычно состав геосинклинального складчатого и орогенного комплексов достаточно резко отличается по вещественному составу от комплекса основания и более молодых платформенных образований, залегающих, к тому же, в ином структурном плане. Все это обуславливает важную или даже определяющую роль формационного анализа в выявлении и обосновании геотектонических циклов.

Такое же литологическое своеобразие характерно и для платформенных отложений, формирующихся на соседних со складчатыми сооружениями площадях в течение определенного цикла. На востоке Русской плиты располагается карбонатный средний палеозой и терригенно-карбонатно-соленосный верхний палеозой, отвечающие времени проявления геосинклинальной и орогенной стадий герцинского цикла Урала. На юге этой же платформы (Скифская плита, ДДВ, Прикаспийская синеклиза) развит карбонатный верхний мел и терригенно-глауконитовый палеоген (нижний и средний кайнозой), формировавшиеся в геосинклинальную стадию аль-

пийского цикла. Угленосный терригенный верхний палеозой Сибирской платформы (Тунгусская синеклиза и др.) четко фиксирует герцинский орогенез прилежащих складчатых сооружений Урало-Монгольского пояса, а карбонатный верхний палеозой Южно-Китайской платформы – геосинклинальную стадию прилежащих индосинид Индокитая. Все это делает вполне естественным и обоснованным использование названий циклов или орогений (ранне- и позднекаледонского, герцинского, киммерийского, альпийского) для соответствующих седиментационно-палеогеографических и историко-геологических этапов платформ, что и делают некоторые исследователи.

Выявление закономерностей проявления фанерозойских циклов делает естественной постановку вопроса о характере подобного явления в докембри. В древней истории, к сожалению, нет возможности столь же точно и детально датировать соответствующие комплексы и события. Однако целый ряд косвенных данных не противоречат существованию в прошлом такой же цикличности и общего хода развития. В позднем протерозое известно существование палеоокеанов, формирование складчатых сооружений и поясов, площадная миграция разновозрастного диастрофизма, кратковременные тектоно-магматические инверсии, иной структурный план развития разновозрастных структур и комплексов. Обычно выделяемые для этого времени циклы, этапы, тектонические эпохи и диастрофизмы с продолжительностью в 150, 250 и 300 млн лет могут быть результатом проявления в определенных тектонических системах и регионах нескольких циклов типа киммерийского и альпийского в Средиземноморском поясе, салаирского, каледонских и герцинского в Урало-Монгольском, индосинийского и киммерийского в азиатской части Тихого океана. Все это позволяет утверждать, что установленные для фанерозоя закономерности пространственно-временного развития циклов являются общими для всего неогена, времени существования геосинклинальных и платформенных структур.

Представления о природе движений земной коры и литосферы

Представления о механизме движений и деформаций земной коры, а также причинах, которые их обуславливали, занимали умы людей уже с античного времени. Зачастую это связывалось с действиями вулканов, подземных вод, воздействием космоса. Первое научное обоснование, названное гипотезой поднятия («кратеров поднятия»), было сформулировано во второй половине XVIII ст. и вскоре завоевало господствующее положение. В числе его основоположников были М.В. Ломоносов и Дж. Хаттон (Геттон); затем она была дополнена А. фон Гумбольдтом и Л. фон Бухом. Суть его сводилась к воздействию «подземного жара», вулканической деятельности.

С 1830-х гг. формулируется гипотеза контракции (П.С. Паллас), наиболее полно сформулированная Э. де Бомоном (1852). Она исходила из космогонических представлений Канта-Лапласа, в соответствии с которыми Земля первоначально была расплавленной, и следствием дальнейшего ее остывания стало формирование складок и горных систем. Подтверждением таких представлений становилась позднее сформулированная гипотеза о существовании геосинклиналей. Такие представления просуществовали до начала XX ст.

Трудности поиска однозначного решения проблем геодинамики стали причиной появления в 1930–1940-е гг. пульсационной гипотезы. Она была сформулирована В. Бухером и усовершенствована М.А. Усовым и В.А. Обручевым. Такие представления предполагали периодическое чередование условий растяжения и сжатия, природа которых понималась по-разному. Одной из причин расширения считалось радиогенное тепло (Дж. Джоли, 1924). Еще одним дополнением существующих представлений была гипотеза подкорковых течений (О. Ампер, 1906), в соответствии с которой складки и шарьяжи в складчатых областях формировались в результате поддвига платформ под геосинклинали под действием направленных под них течений в пластичном подкорковом слое.

Принципиально новым решением природы глобального тектогенеза стала гипотеза дрейфа материков, выдвинутая Ф. Тейлором в 1910 г. и А. Вегенером в 1912 г., в соответствии с которой допускались значительные горизонтальные перемещения материковых глыб по своему подножью. Эта гипотеза знаменовала в геотектонике начало течения, названного мобилизмом, которое противопоставлялось фиксизму, предполагавшему жесткую связь земной коры и мантии. Вместе с тем, она не могла объяснить целый ряд уже утвердившихся положений о геосинклиналях, глубинных разломах и др. Поэтому, несмотря на ряд неопровержимых доказательств существования крупных горизонтальных смещений, к концу 1940-х гг. она потеряла большинство своих сторонников.

В числе гипотез, промежуточных между фиксизмом и мобилизмом, была гипотеза расширяющейся Земли (Б. Линдеман, 1927; О. Хильберген, 1933; М.М. Тетяев, 1934 и др.). Еще одним направлением, завоевавшим лишь ограниченное число сторонников, стала ротационная гипотеза (М.В. Стовас, Г.Н. Каттерфельд), которая предполагала нарушение вращательного режима Земли, следствием чего становилось изменение ее формы и геодинамических напряжений. В.В. Белоусовым и Р.В. ван Беммеленом была предложена гипотеза глубинной дифференциации вещества Земли. Все эти представления вносили лишь какие-то уточнения в механизм глобального тектогенеза.

1960-е гг. стали временем формулирования серии новых гипотез в геотектонике, связанные с более детальным изучением океанических площадей. В 1961–1962 гг. Г. Хессом и Р. Дитцем предложена гипотеза разрастания или спрединга ложа океанов. В 1963 г. Ф. Вайн и Д. Мэтьюз объяснили суть линейных магнитных аномалий в океанах. Все это подготовило почву для представлений гипотез, названных «новой глобальной тектоникой» или «тектоникой плит» (1968, 1974). Суть их заключается в том, что литосфера разделена на относительно небольшое (6–8) количество крупных литосферных плит, горизонтальные перемещения которых обуславливают все основное многообразие структурно-тектонических процессов и форм. Причиной относительного перемещения таких плит считается тепловая конвекция в мантии. Данные гипотезы знаменовали оформление современного мобилизма, названного неомобилизмом.

Представления неомобилизма воспринимались отечественной геологией и геотектоникой с большим трудом. Классические его построения дополнялись развитием альтернативных взглядов, в числе которых – представления о существовании глобальной системы крупных разрывных нарушений

и микроплит, блоковом строении земной коры (И.И. Чебаненко, Л.И. Красный и др.), расслоение литосферы и др. А.В. Пейве и А.А. Савельев (1982) сформулировали новую мобилистскую концепцию, которая предполагает дифференциацию вещества в мантии; Е.В. Артюшков (1979) предполагает иной механизм взаимных перемещений литосферных плит. Допускается целый ряд других процессов и явлений, дополняющих первоначальные построения неомобилизма.

В числе относительно новых представлений, названных А.Н. Павловым квантовой парадигмой, следует отметить систему постулатов о том, что развитие Земли сопровождается эпизодичным поступлением энергии извне. Такую энергию она получает в течение сравнительно коротких интервалов времени (1–5 млн лет), что хорошо подтверждается приводившимися ранее данными о тектонических фазах и структурно-геологических перестройках. По вопросу о природе такого явления существуют разные мнения (прохождение Солнечной системой струйных потоков Галактики, сближение ее с гипотетичной Немезидой и др.). Важно подчеркнуть, что такие представления уже фигурируют в учебной литературе (Общая и полевая геология, 1991, с. 456).

Приведенный краткий обзор моделей тектогенеза позволяет сделать вывод, что все они еще далеки от создания такой теории, которая могла бы исчерпывающе и убедительно объяснить процесс развития литосферы во всем его реальном многообразии. Причин для этого много: недостаток знаний о составе и свойствах вещества и явлений в глубоких недрах Земли, глубинном строении значительной части планеты. Кроме того, специалисты в области физики, геодинамики, кинематики небесных тел, которые должны были решать такие вопросы, недостаточно владеют геологической информацией. Они не в силах разобраться с тем многообразием взглядов и гипотез, которые предложила геология.

Общие закономерности эволюционного развития земной коры

Формулирование закономерностей развития и общей направленности эволюции земной коры осложняется существованием обилия разнородных представлений и гипотез. Поэтому ограничимся здесь лишь приведением тех основных проблем, которые должна решать геотектоника.

В числе основных вопросов данной науки нужно назвать расшифровку условий пространственно-временного развития тектонических движений, формирующих земную кору. Уже первые представления о существовании орогений, эпох и более длительных интервалов времени, в течение которых развиваются складчатые сооружения, а также тектонических фаз и других проявлений эпизодичного тектогенеза, которые разделялись периодами их затухания, стали входить в противоречие с оформившимися взглядами на непрерывность тектогенеза в истории Земли. Философские формулировки типа «непрерывно-прерывистого развития» не могли заменить конкретных взглядов на то, как проявлялись тектонические движения во времени и пространстве. Одним из решений такой проблемы могут быть предложенные в данной работе представления о периодической смене глобальных тектонических режимов разной продолжительности, которые сменяются геологически мгновенными фазами или перестройками. Такая условность

основана на гипотезах о неравномерном проявлении непрерывно движущихся литосферных плит, эпизодичном энергетическом воздействии Космоса, существовании пульсаций Земли, которые уже формулировались разными исследователями и не могут быть опровергнуты.

Существование материковых и океанических структур земной коры делает вполне естественным вопрос о том, как происходило их формирование, решение проблемы эволюционной направленности процесса развития материков и океанов. Анализ фанерозойской истории тектогенеза позволяет устанавливать непрерывное наращивание материковых площадей за счет обрастания их более молодыми складчатыми сооружениями, а также периодическое схождение и образование своеобразных суперматериков. Вместе с тем, имеет место эпизодическое раскалывание их, формирование новых материков и литосферных плит. Вероятно, подобное явление имело место и в прошлой истории Земли, во всяком случае, в позднем докембрии.

Существование многочисленных и разнообразных тектонических гипотез и их разновидностей не позволяет однозначно решать проблему природы глобального тектогенеза, формирующего земную кору. Существует большое количество гипотез о внутренней энергии (радиоактивный распад, гравитационная дифференциация, фазовые переходы и др.), которая перемещает литосферные плиты, обуславливает расширение и пульсации Земли. Вместе с тем, не менее распространенными, а в последнее время резко возрастающими становятся представления о космическом воздействии на этот процесс, который содержится в ротационной гипотезе, парадигме квантового поступление на нашу планету энергии извне и др. Они хорошо подтверждаются существованием глобальных структурно-геологических перестроек и тектонических фаз, повторяющихся через строго равновеликие интервалы времени и сохраняющиеся на протяжении длительной истории развития. Решением данной проблемы может быть признание важности или определяющего значения как внутренней природы тектогенеза, так и космического воздействия на развитие земной коры.

Необходимо обратить внимание еще на одну проблему, возникающую при изучении тектонических движений: отчетливая ритмичность разного порядка в их проявлении. Она выражена структурно-геологическими перестройками, происходящими в фанерозое строго через 75–80 млн лет, а также тектоническими фазами с интервалами времени, втрое менее продолжительными (26 млн лет). Каждая третья перестройка, повторяющаяся через 235 млн лет, обнаруживает сходство между собой. Аналогичным образом мы можем говорить о проявлении аналогичных «великих обновлений» через 700 млн лет. Такая удивительно стройная схема ритмичности требует ее дальнейшего изучения и обоснования с позиции механики небесных тел. И, естественно, она может и должна быть положена в основу историко-геологической периодичности как фанерозоя, так и всей истории развития земной коры. Об этом речь пойдет в последнем разделе справочника.

8. ИСТОРИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

Историческая геология (ИГ) представляет собой раздел наук о Земле, изучающий историю и закономерности развития земной коры во времени, основные геологические процессы и события прошлого, используя для этого методы, которые позволяют их восстанавливать. Основными направлениями ее исследования являются палеогеографические, палеотектонические, седиментационные, палеонтологические, геохронологические, а соответствующие науки или разделы могут рассматриваться как составная часть ИГ. Цели и задачи такого учебного курса и научного направления – дать представление об истории формирования земной коры в целом и основных ее элементов, устанавливать закономерности историко-геологического процесса, освоить методы ИГ главным образом для решения конкретных региональных геологических вопросов.

Геология в целом изучает процессы, формирующие земную кору, ее структуру и вещество, в том числе полезные ископаемые, геологическое строение отдельных площадей. Все эти вопросы являются предметом изучения также ИГ, но в плане расшифровки их проявления во времени и пространстве. Следовательно, предметом исследований изучаемой науки является пространственно-временное формирование вещества и структур земной коры, процессы прошлого, характер историко-геологического развития отдельных площадей, закономерности образования полезных ископаемых и развития органического мира. Этим определяются взаимоотношения и связи ИГ с геотектоникой, литологией, петрологией, региональной геологией, учениями о полезных ископаемых, а также науками, формирующимися на стыке геологии с другими отраслями естествознания: планетологией, палеонтологией, геодинамикой и т. д.

Как всякая наука или даже крупное научное направление ИГ имеет свои принципы, основополагающие идеи, правила, положения, на которых она базируется. Среди них: 1) геологические структуры и тела являются исходным документом, позволяющим расшифровывать историю развития земной коры, ее прошлое; 2) неполнота геологической летописи, определяемая тем, что какие-то «документы» земной истории утеряны, разрушены, недоступны для изучения и требуют определенных допущений, гипотез, аналогий; 3) актуализм, или изучение прошлого по аналогии с современностью, который является ведущим; 4) основу общих историко-геологических представлений составляют регионально-геологические исследования или выявление частных положений на конкретных площадях; 5) развитие земной коры и происшедшие на поверхности и в недрах процессы есть результат сложных взаимодействий многообразных внешних, внутренних, планетарных и космических процессов. Следовательно, такие ведущие положения естествознания, как взаимосвязанность и взаимообусловленность (принцип детерминизма), унаследованность (принцип непрерывности), историзм, эволюция, цикличность и многие другие, находят наиболее полное подтверждение и выражение именно в ИГ или даже рождены ею.

Таким образом, ИГ занимает особое положение в науках о Земле и естествознании в целом. Это основное или даже единственное научное направление, изучающее историю развития природы, развивающее положения историзма, эволюционизма, катастрофизма и многие другие течения

современной науки. Оно обуславливает наше мировоззрение, показывает длительное развитие жизни на Земле, формирует наши взгляды на соотношение эволюционного развития и воздействие на него каких-то катаклизмов, переворотов, революций, катастроф, а также устанавливает на примере прошлого взаимосвязь между разными факторами и природными процессами, последовательность формирования структурных элементов земной коры, появление определенных формаций, разных групп органического мира, объясняет причины вымирания и эволюционных взрывов и их соотношения.

История формирования изучаемой науки достаточно сложна и длительна. В ней можно выделить несколько самостоятельных этапов. Предысторией науки необходимо считать первые представления ученых Древнего Египта, Индии, Китая, Греции и Рима об отдельных физико-географических событиях, которые могли происходить и в прошлом: трансгрессиях и регрессиях, землетрясениях, вулканизме и их природе, месте Земли во Вселенной, происхождении на ней жизни. В значительной степени на таких наблюдениях базировались библейские представления о Всемирном потопе и других катастрофах, кратковременности творений и этапах развития земной истории, последовательности формирования групп органического мира. В средние века историко-геологические взгляды строго подгонялись под каноны религии.

Начальный этап развития ИГ как самостоятельной науки может быть назван стратиграфическим. Он базировался на результатах исследований Н. Стено (1669), космогонических построениях Ф.Р. Декарта, Г. Лейбница, И. Ньютона (1687); начало его может быть отнесено ко второй половине XVIII в. В течение этого времени формулируются космогонические и историко-геологические представления Ж. Бюффона (1749, 1779), которые нашли отображение в его «Естественной истории», «Эпохах природы» и других работах. И. Кантом (1754) и П.С. Лапласом (1796) разработаны гипотезы происхождения Земли и Солнечной системы. Были проведены первые регионально-геологические исследования, на базе которых восстановлена история развития отдельных площадей и даже Земли в целом (И.Г. Леман, 1756; Г.Х. Фюксель, 1762), в 1757, 1763 гг. сформулированы геологические взгляды М.В. Ломоносова. Разработаны первые биостратиграфические схемы (Сулави, 1780–1784; Ж. Кювье и А. Броньяр); У. Смитом сформулирован и использован биостратиграфический принцип корреляции и датировки разрезов. В течение 20–40-х гг. XIX ст. установлены почти все системы общей стратиграфической шкалы фанерозоя, что завершило оформления учение об относительном возрасте. Дж. Геттоном (1788) и А. Вернером (1791) изложены представления о плутонизме и нептоунизме, которые стали основой для длительных споров. Ж. Ламарк предложил свою теорию эволюции развития органического мира (1809), Ж. Кювье – теорию катастроф (1812); Ч. Лайель (1830–1834) формулирует принцип униформизма, положенный в основу методов актуализма.

Середина XIX ст. может рассматриваться как палеогеографический этап ИГ, в течение которого было введено понятие о фациальном анализе (А. Грессли, 1838; Оппель, 1856; Н.А. Головкинский, 1868; Э. Ренеувь, 1884), обоснованы положения о существовании в прошлом материковых

оледенений (И. Венетц, 1829; Ж. Агассис, 1840; П.А. Кропоткин и др.), делались попытки реконструировать физико-географические условия для крупных участков суши, строились первые палеогеографические карты.

Последняя треть XIX ст. и первая половина XX ст. может быть названа тектоническим этапом развития ИГ. В это время обосновываются представления о геосинклиналях (Д. Холл, 1857; Д. Дэна, 1873), а затем и о платформам (Э. Зюсс, Г. Ог и др.). Э. де Бомон разработал методику определения возраста на основании стратиграфических перерывов и угловых несогласий. Сформированы представления об эпохах складчатости (М. Бертран, 1886–1887), которые положены в основу построений о геотектонических циклах и этапах геологической истории; их дальнейшим развитием стал «Орогенный закон времени» (1924) Г. Штилле, положивший начало учению о тектонических фазах. А. Вегенер (1912) и Тейлор, предложили гипотезу дрейфа материков, ставшую основой идеи и учения мобилизма. Д.Н. Соболев (1914, 1926, 1935) разрабатывает учение о геологической периодичности или цикличности, лежавшей в основе тектогенеза, осадконакопления и всех других природных процессов. В.А. Обручев вводит понятие о неотектонике; появляется ряд гипотез пульсационного развития Земли.

40–60-е гг. XX ст. следует считать литологическим этапом развития ИГ, в течение которого формируется закон периодичности осадконакопления (Л.В. Пустовалов, 1940). Активно разрабатываются учения о фациях, геологических формациях, о седиментационной цикличности, теория литогенеза (Н.М. Страхов). Дается качественная характеристика и выполняется большой объем количественных подсчетов формаций в истории Земли (А.Б. Ронов, В.Е. Хаин и др.), появляются учебники по литологии и палеогеографии (М.С. Швецов, Л.Б. Рухин и др.).

С 60-х гг. XX ст. начинается современный этап развития ИГ, который можно определять как время глобального синтеза обширных и разнообразных материалов по истории формирования земной коры. Особенностью его является активное изучение океанов и разработка положений новой глобальной тектоники (НГТ) или учения о литосферных плитах, а также формирование альтернативных ей представлений — о пульсации Земли, расслоении литосферы, блоковом строении земной коры (В.П. Казаринов, Е.Е. Милановский, А.В. Пейве, Л.И. Красный). Проведен огромный объем геологосъемочных, картосоставительских работ и различных обобщений, в результате чего получена обильная историко-геологическая информация. Начинается широкое использование методов изотопной датировки, разрабатываются методы палеомагнитных исследований и палинпастических реконструкций, выявляется большое количество разнородных кольцевых структур и расшифровывается их природа, проводятся обширные геодинамические расчеты и построения. Резко активизируется международное сотрудничество в разработке различных геологических программ (МГКП, «Литосфера» и другие). ИГ из описательной и узкоспециализированной науки становится крупным научным направлением, базирующимся на многообразных принципах, эволюционирующих парадигмах, разнообразных методах, в том числе с количественными расчетами, выполняющим синтез разнородных материалов и решающим большой круг геологических вопросов и проблем.

Методы исторической геологии

Используемые исторической геологией методы многочисленны и весьма разнообразны, так как предполагают установление и изучение самых разнородных процессов, явлений и событий геологического прошлого, изучение взаимодействия разных факторов и сторон историко-геологического процесса, их взаимосвязанность и взаимообусловленность в эволюционном развитии земной коры. Принципиальным отличием историко-геологических методов от соответствующих геотектонических, литологических, петрологических, структурно-геологических и других следует считать рассмотрение их во времени: именно возраст и продолжительность тех или иных проявлений остается главной чертой рассматриваемых методов.

1. Методы определения относительного возраста — последовательности образования геологических тел

Данное направление исследований является основным предметом стратиграфии. Методы определения относительного возраста могут быть объединены в две основные группы — литостратиграфические, основанные на последовательности залегания разных по составу слоев, которые можно наблюдать непосредственно, и биостратиграфические (палеонтологические).

Среди литостратиграфических методов различают литологический (собственно литостратиграфический, или минералого-петрографический), структурно-геологический или тектонический, геофизический и палеомагнитный. Все они базируются на принципе последовательности напластования (принципе Н. Стенона), гласящем, что «при ненарушенном залегании каждый нижележащий слой древнее перекрывающего слоя». Суть литостратиграфического метода заключается в расчленении разреза на отдельные слои и пачки, отличающиеся по вещественному составу, окраске, структурно-текстурным особенностям. Взаимоотношение их в конкретных обнажениях, разрезах и регионах позволяет установить стратиграфическую последовательность, решать вопрос, что моложе и что древнее. Метод этот, являющийся главным или универсальным в геокартировании, лежит в основе установления возрастных взаимоотношений. Следует, однако, помнить, что данный метод стратиграфии применим лишь для изучения и корреляции местных разрезов и лишь с некоторыми поправками в региональном масштабе. В глобальном масштабе, где разновозрастные отложения подвержены резким фаціальным (вещественным) территориальным изменениям, он непригоден или требует существенных поправок.

Структурно-тектонические методы основаны на представлениях о региональном характере проявления структурно-геологических изменений и перестроек, а также об разновозрастности их в разных районах Земли. Проявлениями такого тектогенеза могут быть седиментационные перерывы (параллельное стратиграфическое несогласие), угловые или структурные несогласия, а также степень дислоцированности соответствующих толщ. Поверхности несогласий являются в этом случае границами или реперами, позволяющими относить разделяемые ими отложения к более молодым или более древним. Одним из направлений таких структурно-геологических исследований является метод выделения структурных этажей, который специально рассматривается в структурной геологии и лежит в основе

составления тектонических карт. Он является ведущим лишь при стратиграфическом расчленении докембрийских образований.

Ритмостратиграфические и циклостратиграфические методы являются разновидностью литостратиграфических и заключаются в изучении характера чередования и повторения различных пород или фаций в разрезах, прослеживании отложений с однотипным переслаиванием — наборами ритмов различного порядка. Ритмичность и цикличность строения типична для угленосных, соленосных, флишевых и некоторых других образований. Применимость таких методов ограничена, но в ряде случаев, например, при изучении флиша, они могут быть главными. Некоторые исследователи предполагают, что часть циклов отражает общие седиментационно-палеогеографические процессы на Земле, и они могут быть синхронными в глобальном масштабе. Все это определяет активное изучение данных вопросов, которые даже оформляются в самостоятельное направление — литологию (Ю.Н. Карогодин).

Геофизические методы расчленения и корреляции разрезов достаточно многообразны; они основаны на изменении характеристик соответствующих пород и отложений. Наиболее широко при этом используются электрометрические и ядерные методы геофизики (электро- и гаммакаротаж) — определение удельного электросопротивления или естественной радиоактивности пород. Различные виды геофизического каротажа являются главными при изучении стратиграфических разрезов глубоких скважин. Учитывая специфический рисунок каротажных кривых и объективный характер их составления, данные геофизические методы выделения, прослеживания или даже датировки являются в ряде случаев более обоснованными, чем непосредственные литостратиграфические наблюдения.

Палеомагнитный метод стал использоваться в стратиграфии сравнительно недавно, однако с ним связывают большие перспективы. Базируется он на существовании многократных магнитных изменений или инверсий в истории Земли, когда прямая полярность (ныне существующее положение, при котором северный полюс расположен на севере) и обратная полярность меняются на 180°. Поскольку та и другая полярности находят отражение в соответствующей ориентировке ферромагнитных частиц некоторых пород («магнитная память», «окаменевший магнетизм»), их определение в стратиграфическом разрезе позволяет построить эталонную палеомагнитную шкалу прошлого, фиксирующую такую изменчивость. Эпохи определенной намагниченности и ориентировки полюсов, а также магнитные инверсии являются глобальным явлением. По характеру изменения «ископаемой намагниченности», сопоставлению ее с эталонной шкалой можно привязывать соответствующие образования к общей (единой) геохронологической шкале.

Сложность использования палеомагнитного метода заключается в неполноте многих стратиграфических разрезов, приуроченности ископаемой намагниченности лишь к определенным породам, главным образом к плохо датированным континентальным и вулканогенным, а также трудоемкости получения соответствующих замеров. Палеомагнитный метод и шкала могут использоваться как вспомогательные исследования, уточняющие стратиграфическое положение изучаемых образований либо выступать в качестве независимой меры измерений относительного возраста со

своими магнитными палеохронами (гиперзонами, суперзонами и т. д.). Примером успешного использования палеомагнитного метода является установление границы перми и триаса: в татарском ярусе верхней перми известна очень выразительная палеомагнитная инверсия на границе магнитных зон Киама и Иллавара, которая по точности определения зачастую не уступает биостратиграфической.

Биостратиграфические или палеонтологические методы определения относительного возраста базируются на принципе У. Смита, который в начале XIX века сформулировал положение, что разновозрастные слои содержат исходные ископаемые, то есть могут датироваться и сопоставляться по заключенным в них органическим остаткам. Пока это основной метод современной стратиграфии фанерозоя, дающий наиболее высокую точность определения – датировки и корреляции. Существует несколько самостоятельных биостратиграфических методов определения возраста: 1) метод руководящих форм – выявление палеонтологических остатков с очень небольшой вертикальной распространенностью по разрезу, но расселенных на большой территории; 2) метод комплексного анализа фаунистических и флористических остатков; его преимущество в том, что при таких исследованиях снижается вероятность ошибки, и он может находить применение при отсутствии руководящих форм или в комплексе с ним; 3) эволюционно-филогенетический метод, основанный на определении относительного возраста по уровню эволюционного развития выбранной группы организмов – родов и семейств; 4) процентно-статистический метод, устанавливающий количественные соотношения определенных палеонтологических остатков в изучаемых отложениях.

Кроме того, в зависимости от используемых для датировки организмов среди палеонтологических методов выделяются палеофаунистические, палеофлористические, микропалеонтологические (обычно по фузулинидам, радиоляриям, конодонтам и другим группам), палинологические, или спорово-пыльцевые. Достоверность и точность каждого из них различны; в целом они хорошо дополняют друг друга. Биостратиграфические методы, в отличие от литостратиграфических, ориентированы на привязку соответствующих отложений к глобальной (общей, единой, международной) геохронологической шкале. Естественно, что био- и литостратиграфические исследования должны проводиться в комплексе.

Определение относительного возраста магматических образований производится главным образом по соотношению с вмещающими их осадочными. Если вулканические породы переслаиваются с осадочными, они датируются по принципу «выше–ниже», «моложе–древнее», и чаще всего может устанавливаться лишь нижний или верхний их возрастной предел. Сложнее бывает установление их возраста в случае прислонения (причленения) к более древним геологическим телам, когда более молодые вулканы располагаются гипсометрически ниже (например, при заполнении лавами долин) или прорывают осадочные, образуя межпластовые залежи, или силлы. Возраст интрузивных тел определяется как диапазон между прорываемыми, или древними, и перекрываемыми вмещающимися образованиями.

Относительный возраст метаморфических образований определяется так же, как осадочных или магматических. Зачастую определяющим здесь является не литологический, а структурно-геологический (учитывая слож-

ную их дислоцированность). В этом случае, если толщи метаморфических пород разграничены тектоническим или магматическим контактом (разрывное нарушение или внедрение по разлому интрузии), об относительном их возрасте с какой-то долей условности можно судить по степени их метаморфизма. Более древними образованиями являются те, степень или стадия метаморфизма которых более высокая.

2. Методы абсолютной геохронологии

Методы определения абсолютного возраста принципиально отличаются от относительного: их целью является определение возраста того или иного геологического тела и события, выраженное в единицах астрономического времени, обычно в миллионах лет, начало или окончание какого-то процесса или его продолжительность. Попытка разрабатывать их предпринималась уже с XVIII в. Качественно новое их развитие началось в XX ст. после открытия явления радиоактивности. Все методы абсолютной геохронологии условно можно разделить на две основные группы – литолого-палеогеографические и изотопные.

Среди литолого-палеогеографических методов наибольшую известность получил метод ленточных глин, или варв, предложенный в 1940 г. Де-Геером. Основан он на подсчете количества годовых пар слоев в приледниковых отложениях: песчано-алевритовых разностей, формирующихся в летнее время, и глинистых – в зимнее. Данный метод имеет ограниченное применение, однако, является весьма наглядным и достоверным, позволяющим определять продолжительность ледникового процесса – его таяния и отступления.

В числе более ранних методов абсолютной геохронологии необходимо назвать попытки определения возраста Мирового океана по подсчету его солености или длительности поступления солей, а также времени остывания Земли (он основан на представлениях, что планета была расплавленным телом). Наконец, делались и делаются попытки определения продолжительности скорости осадконакопления по мощностям накопившихся отложений или изучению их ритмичности («седиментационный метод песочных часов»).

Наиболее важны в абсолютной геохронологии изотопные методы, основанные на определении времени полураспада ядер атомов радиоактивных элементов, протекающих в земной коре с одинаковой скоростью. Эти методы определения изотопного возраста (ядерной геохронологии, радиометрии, радиогеохронологии) постоянно совершенствуются. Среди наиболее распространенных необходимо упомянуть свинцовый, аргонный, стронциевый и радиоуглеродный методы.

Свинцовый метод основан на определении изотопов свинца и гелия, являющихся конечными продуктами распада урана и тория. Он надежен и хорошо разработан; удовлетворительные результаты получаются для датировки докембрийских образований. Основным ограничением его применения является редкая сохранность используемых для анализа природных минералов (обычно монацит, уранинит, ортит).

Аргонный, или калиево-аргонный метод разработан в нашей стране З.К. Герлингом и является сейчас наиболее распространенным. Основан он на превращении изотопа ^{40}K в аргон. Определение возраста производится

по отношению $40\text{Ar}/40\text{K}$ в таких распространенных минералах и горных породах, как слюды, калиевые полевые шпаты, роговые обманки, пироксены, глауконит, некоторые соли. Следовательно, он пригоден для датировки большинства изверженных пород и некоторых осадочных (глауконитосодержащих, соленосных и др.). Ограничение его использования связано с чувствительностью к последующим воздействиям, различного рода «омоложениями» в результате выветривания или метаморфогенно-метасоматическими процессами.

Стронциевый, или рубидиево-стронциевый метод основан на распаде ^{87}Rb и превращении его в изотоп ^{87}Sr , который обычно присутствует в калиевых минералах, чаще всего в слюдах. Наиболее широко используют для контроля аргоновых определений.

Радиоуглеродный метод основан на определениях радиоактивного изотопа углерода ^{14}C , который образуется в атмосфере, а затем усваивается растениями. Используется он для датировки отложений, время образования которых не превышает 50–70 тыс. лет. Поэтому он применим в археологии, антропологии и при расшифровке геологической истории последнего этапа четвертичного периода.

На основе методов изотопной геохронологии разработана геохронологическая шкала, которая постоянно уточняется. Существует несколько вариантов таких шкал. В них датированы не только периоды и эпохи (начало, окончание, продолжительность), но и века и даже некоторые палеонтологические зоны для мезозоя-кайнозоя. Поскольку точность радиохронологических методов составляет в среднем 3–5 %, определение возраста раннепалеозойских и докембрийских отложений геологических тел и событий производится иногда со значительным искажением или без столь же высокой достоверности, которая характерна для более молодой истории. Результаты абсолютной геохронологии наиболее важны для установления возраста магматических образований, особенно интрузивных. В целом они не только дополняют или уточняют определения относительного возраста, но и вносят в датировку новый элемент информации о времени, дают исходный материал для ряда количественных исследований. Хотя полностью определение абсолютного возраста пока не в состоянии заменить относительный возраст.

Биостратиграфические построения и данные определения абсолютного возраста таких построений позволили создать единую схему или шкалу стратиграфического и геохронологического деления, которая приводится ниже.

3. Методы восстановления древних физико-географических обстановок

Данное направление исследований принято считать одним из основных в исторической геологии. Предполагается, что оно изучает взаимодействие главных оболочек Земли в прошлом: атмосферы, гидросферы и земной поверхности. Это главный предмет палеогеографии, который включает изучение следующих основных крупных вопросов: фациальный анализ, характер распределения суши и моря в геологическом прошлом и палеоклиматические реконструкции. Данные методы разработаны наиболее полно и обычно детально описаны в большинстве учебников.

Таблица. 3. Стратиграфическая и геохронологическая шкала

Эра, продолжит.	Период (система), нижний предел, млн лет	Индекс	Горобразов.	Продолжит. периода, млн лет	Общепринятый цвет на геологической карте
Кайнозойская (кайнозой), 65–70 млн лет	Четвертичный (антропоген) 0,7–1,8	Q	Альпийское	0,7–1,8	Желтовато-серый
	Неогеновый (неоген) 26 ± 1	N		25	Желтый
	Палеогеновый (палеоген) 67 ± 3	P		41	Оранжево-желтый
Мезозойская (мезозой), 163 млн лет	Меловой (мел) 137 ± 5	K	Мезозойское	70	Зеленый
	Юрский (юра) 195 ± 5	J		55–60	Синий
	Триасовый (триас) 230 ± 10	T		40–45	Фиолетовый
Палеозойская (палеозой), 310–385 млн лет	Пермский (пермь) 285 ± 10	P	Герцинское	50–60	Оранжево-коричневый
	Каменноугольный (карбон) 350 ± 10	C		65–75	Серый
	Девонский (девон) 405 ± 10	D	Каледонское	60	Коричневый
	Силурийский (силур) 405 ± 15	S		25–30	Серо-зеленый
	Ордовикский (ордовик) 500 ± 15	O		60–70	Оливковый
	Кембрийский (кембрий) 570 ± 20	Є		70	Сине-зелен. (темный)
Протерозойская (протерозой), около 2000 млн лет	Поздний, ранний протерозой 2700 ± 100	Pt	Байкальское		Розовый
Архейская (архей), 1500–2000 млн лет	Поздний, ранний архей, 3650	Ar			Сиренево-розовый

На базе анализа физико-географических (палеогеографических, геологических) процессов и обстановок прошлого были разработаны и сформулированы основные принципы исторической геологии. Среди них необходимо назвать принцип униформизма, сформулированный в 1833 г. английским исследователем Ч. Лайелем, который предполагал, что изучение современных природных явлений есть ключ к познанию прошлого. Его взгляды, предполагавшие неизменность во времени геологических процессов и отрицавшие направленность развития Земли, подверглись впоследствии уточнениям. Униформизм был заменен понятием актуализма, при котором расшифровка геологического прошлого идет от изучения современных процессов, но с поправкой на их эволюционную изменчивость во времени. Актуализм ведет свое начало от И. Вальтера (1893), но наиболее полно развивался в отечественной геологии А.Д. Архангельским и Н.М. Страховым. В последних трактовках это не только принцип или мировоззрение, но и самостоятельная группа методов исследований, учитывающая необратимость геологической истории.

При всех достоинствах и возможностях актуалистического метода необходимо помнить о его ограниченности. Его нужно с большой осторожностью применять для решения процессов докембрийской истории, физико-географические условия которой существенно отличаются от современных. Он с большими ограничениями может применяться к тектоническим процессам, которые являются более продолжительными, чем это фиксируют современные наблюдения. Наконец, он непригоден для расшифровки интрузивного процесса и тех явлений, которые невозможно наблюдать сегодня. Следовательно, актуализм должен учитывать разный диапазон времени по данным современных наблюдений и сравнения их с конденсированной информацией о геологическом прошлом, невозможность зачастую датировать события прошлого с требуемой возрастной точностью.

Фациальный анализ как основа воссоздания геологического прошлого получил в исторической геологии и палеогеографии наиболее широкое распространение. Понятие о фации введено А. Грессли (1839), который понимал под нею синхронные отложения сходного литологического состава и с одинаковыми палеонтологическими остатками. Позднее Н.А. Головкинский (1869) ввел это понятие в русскую геологическую литературу, трактуя его как единицу физико-географической обстановки для определенного интервала времени. Такое двойное понимание сущности фации – литологическое и как элемента ландшафта – сохраняется и поныне. Естественно, что основу фациального анализа составляют представления о современных их взаимоотношениях, то есть актуалистический подход их изучения. Благодаря работам Д.В. Наливкина (1934, 1956) и других исследователей фациальный анализ превратился в крупное направление и самостоятельное учение, развивающееся на стыке палеогеографии, исторической геологии, литологии.

Среди методов фациального анализа необходимо отметить две основные их группы: составление фациальных карт и расшифровка фациальных обстановок геологического прошлого в отдельных районах по данным стратиграфических разрезов. Фациальные карты составляются обычно для одновозрастных отложений, литологический состав которых изменяется

по площади. Такие карты дают хорошее представление о палеогеографических обстановках отдельных периодов, веков, эпох или других интервалов времени, которые могут быть использованы для прогнозирования определенных полезных ископаемых — углей, россыпей, различных строительных материалов.

Составление фациальных карт и разрезов базируется на: 1) пространственно-временном выделении минералов и пород-индикаторов, фиксирующих соответствующие палеогеографические обстановки, — соли, угли, глауконит, фосфориты, гипс, карбонаты и др.; 2) биомическом анализе — восстановлении палеогеографических и фациальных обстановок по данным распределения в соответствующих отложениях палеонтологических остатков; 3) литологическом анализе, учитывающем цвет пород — красноцветные, сероцветные, пестроцветные и др., а также их структурно-текстурные признаки, характер переслаивания, изменчивость этих признаков по площади и в разрезе. По этим данным может производиться восстановление глубины, солености и формы бассейнов, температур того времени и ряда других характеристик палеогеографического прошлого. Дальнейшим предметом фациального анализа становится их идентификация с современными, а также группирование в определенные типы, группы, виды.

Вторым важным направлением палеогеографических реконструкций является изучение характера распределения суши и моря в геологической истории. Среди исследователей, активно занимавшихся этими вопросами, необходимо назвать А.П. Карпинского, С. Бубнова, Б.Л. Личкова, Г.Ф. Лунгерсаузена, Пэйтона, Э. Хеллема, Д.П. Найдина, Ю.М. Малиновского, А.Л. Яншина. Основными методами данных исследований было составление и анализ палеогеографических карт, а также построение и корреляция региональных палеогеографических кривых.

Палеогеографические карты несут большую информацию о физико-географических обстановках каких-то интервалов геологического прошлого. Данные анализа таких карт в глобальном или региональном масштабе позволяют фиксировать периодическое разрастание или сокращение морских и континентальных площадей, а также различного рода их перераспределения. Соответствующие методы сводятся к подсчетам соотношения таких площадей, что позволяет выделять гео- и талассократические периоды и эпохи (этапы), а также сравнивать полученные параметры с современными. Характер колебания таких соотношений в региональном и глобальном масштабе отражается путем построения различного рода палеогеографических кривых.

Еще одна группа методов и направление исследований сводится к выявлению в частных или региональных разрезах отдельных трансгрессий или регрессий. Примером подобных исследований может быть составление палеогеографической (эйпейрогенической) кривой по данным геологической карты. Если мы составим ряд таких палеогеографических кривых для отдельных регионов (крупных тектонических структур), то их сопоставление позволит фиксировать какие-то общие трансгрессии или регрессии, которые мы можем сопоставлять с теми, что выделены по данным анализа палеогеографических карт. Наряду с этим, такие сопоставления позволяют иногда устанавливать явления, при котором трансгрессиям в одних регионах соответствуют регрессии в других; в этом случае мы можем говорить

о палеогеографических перераспределениях: морские бассейны из одних площадей перемещаются в другие.

Палеоклиматические исследования получили большое распространение в последнее время. Климат как один из основных параметров физико-географических условий определяется следующими основными факторами: 1) соотношением морских и континентальных площадей и взаимным их расположением; 2) степенью орографической расчлененности рельефа; 3) величиной солнечного излучения, которое вероятно могло изменяться во времени; 4) концентрацией CO_2 в атмосфере, при которой ее повышение может вызвать потепление. Обычно региональные и глобальные изменения климата определяются комбинацией этих факторов. Важнейшей особенностью климата Земли является поясная климатическая зональность – существование полярных, экваториальных зон и поясов умеренного климата. В зависимости от соотношения величины выпадения и испарения осадков выделяют два типа климата – аридный и гумидный.

Среди основных направлений палеоклиматических исследований необходимо назвать выделение эпох аридизации или гумидизации климата, потепления или похолодания на изучаемых площадях, выявление причин нарушения климатической зональности и работы по палеогеографическому районированию. Методы таких исследований могут быть самыми различными; среди них преобладают литолого-формационные (изучение климата по составу сформировавшихся отложений) и палеонтологические, когда о климате можно судить по характеру существовавшего органического мира. Полученные результаты отражают на различных таблицах, графиках, палеоклиматических кривых.

Нарушение поясной климатической зональности может быть обусловлено как особенностями размещения морских и континентальных площадей и рельефов, так и последующим ее нарушением за счет дрейфа материков. Нередко именно палеоклиматические данные вместе с палеомагнитными и другими ложатся в основу соответствующих представлений мобилизма. Например, позднепалеозойское гондванское оледенение, следы которого известны на разных материках, трактуется как результат дальнейшего разнота площадей со сформировавшимися ледниковыми отложениями – тиллитами. Отсюда разработка методов палеогеографического районирования, восстановление миграции полюсов, палинспастических реконструкций (восстановление былого размещения регионов и материков является составной частью палеогеографического исследования).

Итогом воссоздания физико-географических обстановок прошлого является составление палеогеографических карт. Методика их построения хорошо разработана. На таких картах показываются морские и континентальные площади с их соответствующей характеристикой (глубины бассейнов, орографические параметры континентальных и морских площадей, предполагаемая гидрография и т. п.); палеогеографическую обстановку иногда совмещают с данными об осадконакоплении – такие карты называют литолого-палеогеографическими; они составляются для отдельных периодов, эпох, веков или каких-то произвольно выбранных этапов. Палеогеографические карты, как уже неоднократно подчеркивалось, это не только итог изучения физико-географических условий, но и материал для дальнейших исследований.

4. Тектонические движения и методы их изучения

Под тектоническими движениями принято понимать преимущественно механические перемещения в земной коре, верхней мантии и приповерхностных зонах, которые обусловили изменения земной поверхности и строения геологических тел. Это составная часть геологической формы движения материи, которую следует отличать как от планетарной, совершаемой Землей, так и от различного рода геохимических, минералогическо-петрологических, физико-географических (денудационно-аккумулятивных) процессов, в результате которых формируется рельеф. Учение о тектонических движениях лежит в основе развития геотектоники; в исторической геологии они важны для правильного и более глубокого понимания прошлого, так как именно тектогенез обуславливает преобладающую часть седиментационно-палеогеографического и магматических проявлений, формирование рельефа.

Единого принципа классифицирования тектонических движений, общепринятых схем их разделения нет. Основная причина этого — многообразие разнородных частных форм их проявления: в геологических словарях насчитывается свыше 200 терминов, характеризующих тектонические движения. Основными признаками, по которым следует их классифицировать, необходимо считать: 1) форму проявления; 2) генезис тектонических движений — попытку разделить их на те группы, что обусловлены гравитационной природой соответствующих перемещений: планетарно-ротационными и термодинамическими процессами; 3) пространственно-временным характером проявления. Естественно, что историческую геологию интересует именно последняя их группа.

В основе наиболее распространенной схемы классифицирования тектонических движений лежит традиционное разделение их на два основных типа: колебательные и дислокационные, или деформационные, которые заменили ранее выделявшиеся эпейрогенические и орогенические (складкообразовательные). Принятое деление подразумевает выявление тектогенеза, обуславливающего деформации и без таковых, когда о соответствующих перемещениях судят главным образом по условиям осадконакопления (мощностного сформировавшихся отложений, глубине их накопления). Естественно, что такое деление является формальным и упрощенным, отражающим лишь одну сторону явления; зачастую проявление колебательных и деформационных тектонических движений может быть единым процессом, обусловленным общими глубинными процессами, эндогенными причинами.

Одним из важнейших вопросов исторической геологии является обоснование понятия тектонического режима и его смены. Под тектоническим режимом понимается преобладающий тип перемещений и деформаций на определенных площадях в течение изучаемого времени; это природное состояние того или иного участка земной коры. Режимом в этом случае считается некоторый суммированный характер перемещений, обычно вертикальных, который может осложняться импульсами обратных движений (например, седиментационные перерывы в пределах прогибающихся бассейнов). Основными показателями тектонического режима являются определенная его устойчивость, единая направленность перемещения (преобладающие опускания или воздымания), а также их темп; для

определения скоростей опускания пользуются данными о мощностях накопившихся отложений и представлениями о глубине бассейна, где они формировались. О восходящих движениях мы можем судить лишь по глубине денудационного среза.

Смена тектонического режима может определяться изменением направленности перемещений (длительные опускания сменяются воздыманиями) участка, а также разными скоростями опускания. В первом случае говорят об инверсиях, или обращении тектонического режима, а во втором – об активизации или затухании подвижности. Смены режимов бывают постепенными или резкими, скачкообразными. Обычно смена тектонических режимов сопровождается активизацией складкообразования, сменой структурного плана площадей прогибания и воздымания и другими явлениями; в таком случае говорят о проявлении тектонических фаз, о диастрофизмах, структурно-геологических перестройках.

Методы изучения тектонических движений весьма разнообразны; наиболее полно разработано изучение колебательных тектонических движений, ряд методов их изучения получил большое распространение.

Метод изопахит, или метод площадного изменения мощностей, который сводится к построению линий с разными мощностями одновозрастных отложений. Это один из наиболее простых и достаточно наглядных способов выявления участков прогибания земной поверхности в определенный интервал времени. Обычно применим для сравнительно небольших площадей с хорошо изученными мощностями отложений. Построение карт изопахит для нескольких разновозрастных осадочных толщ позволяет фиксировать миграции зон максимального прогибания тектогенеза определенного времени.

Метод фациального анализа позволяет восстанавливать физико-географические условия в определенные интервалы времени и по ним судить о характере соответствующих колебательных тектонических движений. Фациальный анализ используется не только для построения палеогеографических карт, но и для изучения тектогенеза. В сочетании с методами изопахит он позволяет выделить площади прогибаний и воздыманий, а также пограничные зоны, глубоководные и мелководные участки седиментационного бассейна. Метод является весьма информативным для больших площадей с хорошо изученными стратиграфическими разрезами.

Метод изучения мощностей позволяет фиксировать разный темп проявления колебательных тектонических движений во времени. Основой для таких исследований является стратиграфическая колонка; поэтому, в отличие от метода изопахит, анализируется не территориальный характер тектогенеза, а хронологический. В ряде случаев изучаются не мощности, а скорости осадконакопления (мощность делится на длительность времени накопления соответствующих толщ в миллионах лет), которые более точно характеризуют темп прогибания. Такие данные изображают графически в виде палеотектонических, или эпейрогенических кривых. Если имеется материал по нескольким площадям или регионам, то можно сравнивать характер одновозрастных колебательных тектонических движений, фиксировать интервалы времени, в течение которых средние скорости прогибания могут затухать или возрастать.

Анализируя данные о мощностях и скоростях осадконакопления и соответствующего прогибания, нужно помнить об условности таких

представлений: малые мощности могут иногда формироваться в условиях больших глубин и, следовательно, высоких темпов прогибания и наоборот, мелководные отложения могут иметь очень большие мощности. Выходом из такого положения может быть использование метода комплексного анализа стратиграфического разреза, который предусматривает построение для изучаемых площадей седиментационной диаграммы, палеогеографической и палеотектонической (эпейрогенической) кривых, на которых отражается глубина седиментационного бассейна, мощности или темпы накопившихся отложений и седиментационные перерывы, знаменующие воздымания, которые позволяют наглядно представить характер колебательных тектонических движений на изучаемой площади в течение всего анализируемого диапазона времени.

Метод изучения стратиграфических (седиментационных) перерывов предполагает выделение их на каких-то участках, площадное прослеживание и межрегиональное сопоставление этого историко-геологического явления, обусловленного проявлением колебательных тектонических движений. Геологическая природа и конкретные условия проявления седиментационных перерывов могут быть самыми различными. Это может быть результатом обширных воздыманий или снижения уровня Мирового океана, изменением конфигурации океанических впадин и многих других причин. Изучение возрастных уровней таких перерывов и является предметом соответствующих историко-геологических исследований. В частности, устанавливается их приуроченность к границам большинства периодов, а также существование эпох частого их проявления.

Методы изучения деформационных (складкообразовательных) тектонических движений достаточно разнообразны, однако для исторической геологии лишь два основных имеют важное значение. Анализ угловых несогласий предполагает выделение, площадное прослеживание и межрегиональную корреляцию разновозрастных складчатых деформаций. По своей сущности и характеру исследований данный метод близок к изучению седиментационных перерывов, но здесь анализируется проявление не колебательных тектонических движений, а складкообразовательных. Такие исследования впервые в большом объеме выполнил Г. Штилле (1924); и хотя многие его представления подверглись впоследствии резкой критике, сам метод имеет много последователей. И действительно, на определенных возрастных уровнях (в позднем визе, в середине турона или артинского века и др.) во многих районах Земли фиксируются резко выраженные региональные проявления складчатости. Природа этого явления пока недостаточно полно расшифрована, но сам факт его существования заслуживает изучения. Могут анализироваться как характер размещения угловых несогласий в разрезе, так и прослеживание «главной складчатости» в пределах складчатой области или пояса, закономерности ее пространственно-временной миграции.

Метод составления тектонических карт, основанный на выделении площадей и структур с разновозрастной складчатостью, остается, по всей видимости, основным в изучении деформационного тектогенеза. Такие карты могут составляться как для небольших площадей, в том числе планшетов средне- и крупномасштабной съемки, так и в региональном или даже глобальном масштабе. Основная суть такой карты – показ площадей

с разновозрастными деформациям. Так, на региональных тектонических картах могут быть выделены области и зоны с байкальской, каледонской, герцинской, мезозойской или альпийской складчатостью — площади, где активное складкообразование приурочено к определенным интервалам времени.

Методы изучения горизонтальных перемещений приобретают в последнее время особо важное значение, как для геотектоники, так и для исторической геологии. При изучении современных тектонических движений активно использовались повторные триангуляции; в настоящее время вместо триангуляции производится трилатерация, при которой измеряется длина не одной, а всех сторон треугольника. Особый интерес при этом представляет изучение перемещения литосферных плит. Выполнявшиеся ранее измерения смещения путем повторного определения географических координат опорных пунктов на разных континентах были признаны недостаточно надежными. Такие измерения впоследствии начали производиться с помощью лазерных отражателей, установленных на Луне и искусственных спутниках Земли, а также длиннобазовым радиоинтерферометрическим методом — путем регистрации радиосигналов от квазаров. К настоящему времени подтверждена реальность смещения литосферных плит и направление их движения, совпадающее с предполагаемыми геологическими расчетами.

Метод сопоставления географических и геологических контуров материков использовался первоначально А. Вегенером для обоснования гипотезы дрейфа материков. Этот мобилистский подход, разработывавшийся первоначально на изучении берегов Атлантического океана, в принципе, может быть использован для доказательства крупных горизонтальных перемещений и в пределах любых других складчатых сооружений. В частности, на основании таких данных определялась величина смещения по сдвигам в Сихотэ-Алине, а также по разлому Сан-Андреас в Северной Америке. Установление крупных горизонтальных перемещений имеет большое значение для историко-геологического анализа.

Метод палинспастических геодинамических реконструкций предполагает восстановление величины и направления движения блоков и пластин путем расшифровки особенностей строения горно-складчатых сооружений. Для такого восстановления первоначального положения производится условное «распрямление» складок, определение величины смещения надвиговых пластин и сдвиговых перемещений до совпадения геологических реперов, строятся палинспастические карты. В целом это сложная методика исследований, которая в последние годы активно разрабатывается.

Метод палеомагнитного восстановления полюсов геологического прошлого и определения на этой основе ориентировки величины горизонтального смещения базируется на изучении размещения ферромагнитных минералов в породах того или иного возраста (одна из разновидностей «магнитной памяти»). Определение такой ориентировки требует сложных и трудоемких полевых и лабораторных измерений («чисток»). Полученные палеомагнитные данные позволяют устанавливать не только величину и траекторию перемещения, но при определенном объеме информации — и скорость движения определенных плит. Данный метод должен использоваться в комплексе с другими исследованиями по горизонтальным перемещениям.

Методы изучения тектонических режимов являются наиболее важными для исторической геологии. Среди них самым распространенным следует считать формационный метод, который базируется на анализе вещественного состава, мощностей (скоростей прогибания) и характера площадного распространения отложений определенного возраста, что позволяет устанавливать природу соответствующих режимов — считать их геосинклинальными, платформенными, орогенными, рифтогенными или какими-то переходными. Такие исследования могут выполняться как для небольших площадей (отдельных планшетов, в частности), так и для крупных регионов. Среди частных методов формационного анализа необходимо отметить построение формационной колонки по стратиграфическому разрезу, для более обширных площадей — построение формационного профиля, показывающего изменения режимов по каким-то типовым линиям, и составление формационной карты.

Изучение тектонических режимов для обширных площадей и достаточно больших интервалов времени позволяет обосновать еще один метод — выявление геотектонических циклов в историко-геологическом развитии отдельных складчатых областей. Анализ такой цикличности начинается с обоснования стадий соответствующего развития — геосинклинальной или орогенной, уточнения их возраста. Несмотря на кажущуюся простоту таких исследований, выявление самостоятельных и выразительных циклов бывает очень трудным, учитывая сложное зональное строение большинства складчатых областей, отсутствие строгих критериев для разных стадий. Если геотектонический цикл в пределах какой-то области повторяется, говорят о полициклическом ее развитии. Примером таковой является Большой Кавказ, где в девоне и в первой половине карбона происходят прогибания геосинклинального типа, а в позднем палеозое развиваются орогенные режимы. С конца перми начинаются новые геосинклинальные прогибания, максимум которых приходится на среднюю юру. В поздней юре—раннем мелу морские площади здесь резко сокращаются, местами формируются кислые вулканиты; данный киммерийский цикл является недостаточно выразительным. Новые геосинклинальные прогибания происходят в позднем мелу—палеогене, и со второй половины неогена они сменяются воздыманиями орогенного типа. Данный альпийский цикл еще не завершился.

Особое внимание в последнее время уделяется изучению характера смены тектонических режимов; в связи с этим сейчас активно разрабатывается метод изучения региональных структурно-геологических перестроек. Он сводится к выявлению в пределах самых различных и тектонически разнородных структур разновозрастных уровней резкого изменения палеографических и седиментационных обстановок, своеобразных формационных несогласий. В ряде случаев удается обосновать глобальный характер таких преобразований, если он проявлен в большинстве регионов, и точно датировать их, а также устанавливать кратковременность таких изменений режимов.

5. Методы изучения осадконакопления

Изменения условий осадконакопления во времени и эволюция его в геологической истории рассматриваются обычно одновременно с палеогеографическими процессами и тектоническими режимами, учитывая четкую

зависимость седиментогенеза от соответствующих физико-географических обстановок. Расшифровка данного процесса является, как правило, предметом литологии, которую в первую очередь интересуют условия формирования вещественного состава отложений, характер пространственной их дифференциации и диагенеза, а также стратиграфии, где основной акцент делается на датировку отложений. Историко-геологический аспект изучения осадконакопления сводится к поискам каких-то закономерностей пространственно-временного его проявления, которые позволят определить другие составляющие данного процесса: особенности тектогенеза и изменения других обстановок прошлого, их датировка, установление определенных событий.

Среди основных методов изучения осадконакопления необходимо, прежде всего, назвать формационный. Термин «формация», введенный А.Г. Вернером еще в XVIII ст., понимается по-разному. Это либо стратиграфическая категория, близкая к понятиям «свита—серия—толща», либо тектоническая, трактуемая как ассоциация отложений, сформировавшихся в определенных эндогенных режимах. Вместе с тем, изучение формаций позволяет получить наиболее полную информацию в глобальном масштабе. Исходя из этого, формационный анализ включает разделение соответствующих отложений по вещественному составу (группы терригенных, карбонатных, хемогенных, вулканогенно-осадочных и других формаций), по палеогеографическим условиям их образования (формации морские, континентальные, лагунные, прибрежно-морские, аридные, гумидные, нивальные и т. д.), по характеру формирующих их тектонических режимов (формации платформенные, геосинклинальные, орогенные), по историко-геологическим закономерностям размещения в разрезе земной коры (например, железисто-кремнистые формации раннего докембрия, угленосные формации фанерозоя), последовательности формаций в составе геотектонического цикла при формировании складчатой области.

Формационный анализ как крупное направление исследований, включает большое количество частных методов; о некоторых из них уже шла речь ранее. Это построение формационных колонок, составление формационных карт, формационных профилей, выявление формационных рядов (последовательности образования формаций) в развитии определенных тектонических структур, главным образом геосинклинальных складчатых областей. Особняком стоят количественные методы изучения формаций (подсчет их соотношений в составе земной коры) или выявление резких их смен — формационных несогласий.

Построение формационной колонки представляет собой сравнительно простой и достаточно распространенный метод изучения осадконакопления. Основой для него может быть частный или сводный литостратиграфический разрез. Основным принципом группирования отложений в формационной колонке является не возрастная, а вещественная. Выделяемые в разрезе формации получают названия, в которых отражается их состав, условия и другие дополнительные признаки (например, сероцветная морская терригенная формация, глауконитовая платформенная и т. д.). При необходимости формации могут объединяться в какие-то надформации или наоборот, делаться на подформации (субформации). Такие данные в соответствующих колонках дополняются сведениями о мощностях

формаций, их возрасте, может быть, индексе, которые приводятся в отдельных графах.

Составление формационных карт представляет собой большую и очень трудоемкую работу, к которой обычно привлекается большой круг специалистов. Суть таких построений сводится к тому, что показываются не просто выходящие на поверхность разновозрастные отложения (как на обычной геологической карте), а группы литологически сходных и генетически однородных отложений. В ряде случаев, например, при металлогенических исследованиях или для инженерно-геологических целей, такие карты бывают более предпочтительными, чем геологические. Наряду с такими собственно формационными картами составляются и литолого-палеогеографические карты, на которых одновременно с изображением водных бассейнов и рельефа показываются формирующиеся там отложения.

Количественные методы изучения разнородного осадконакопления также достаточно разнообразны. В их числе необходимо назвать изучение соотношений основных формаций в разрезах отдельных регионов или в глобальном масштабе для определенных интервалов времени. Примером таких исследований могут быть расчеты А.В. Ронова, В.Е. Хаина и других специалистов по содержанию основных типов формаций для систем и отделов, которые выполнялись в течение нескольких десятилетий. В ряде случаев приблизительные представления о масштабах определенного осадконакопления могут дать сопоставления запасов тех или иных полезных ископаемых (например, подсчеты общих запасов угля). Наконец, общие представления о масштабах разнородного осадконакопления дают седиментационные диаграммы или формационные колонки, где показываются мощности соответствующих отложений для определенной площади или региона.

Методы изучения седиментационной цикличности весьма многообразны и пользуются большим распространением; вероятно, это наиболее крупное направление исследований по изучению осадконакопления. Среди разнообразных методов используется построение различного рода таблиц и графиков, диаграмм, гистограмм и кривых, которые с той или иной степенью наглядности выявляют периодическое чередование морского и континентального осадконакопления в каком-то бассейне, условий прогибания и седиментационного перерыва, формирования разных по составу отложений — карбонатных и терригенных, гумидных и аридных, осадочных и вулканогенных. Продолжительность подобных повторений может быть самой различной — выражаться чередованием мощных формаций, маломощных пачек, слоев флиша, ленточных глин, где чередуются годовичные накопления. Поэтому при разработке методов изучения той или иной цикличности должно учитываться многообразие самых различных по своему характеру соподчинений.

Еще одним направлением изучения осадконакопления, которое в последнее время привлекает внимание многих геологов, становится выявление седиментационно-палеогеографических рубежей, или формационных несогласий. Методика проведения таких исследований сводится к сопоставлениям сводных литостратиграфических разрезов или формационных колонок для разных площадей или регионов и установлению

возрастных уровней наиболее резких литологических изменений, а также определению их ранга — по отношению их к местным, региональным или глобальным событиям. Последний случай предполагает те условия, когда вещественные изменения фиксируются в подавляющем большинстве регионов и являются обычно одними из наиболее резких. Главным в изучении крупных седиментационно-палеогеографических изменений является доказательство их однозначности, поэтому данный метод историко-геологического анализа базируется не только на литологических формационных данных, но и в первую очередь на литостратиграфических, так как именно они обеспечивают доказательство синхронности.

6. Магматизм и методы его изучения

Формы проявления магматизма весьма разнообразны, а его роль в геологической истории велика, что обязывает обратить особое внимание на методы его изучения. Среди большого многообразия магматических проявлений принято выделять две основные их группы — интрузивные процессы, которые завершаются застыванием магм на глубине, и эффузивные, или вулканические, сопровождающиеся излиянием лав на земную поверхность, туфовыми выбросами и образованием в приповерхностных зонах своеобразных субвулканических тел. Несмотря на внешнее сходство и частую пространственную и возрастную сближенность, интрузивные и эффузивные процессы отражают разнородные тектонические режимы. В качестве самостоятельных рассматриваются дайковый процесс (формирование специфических извержений пород в разрывных зонах), образование трубок взрыва, или кимберлитов, а также образование протрузий, когда внедрение изверженных пород происходило в твердом состоянии.

Интрузивные и эффузивные процессы, а также формы образующихся при этом магматических тел рассматриваются обычно в курсах «Общая геология» и «Структурная геология и геокартирование»; здесь делается акцент лишь на историко-геологической стороне их формирования. Магматизм, как это неоднократно подчеркивается, является очень точным и чутким индикатором тектонических режимов, а также активным геологическим фактором, обуславливающим, в частности, раздвижение литосферных плит при спрединге или консолидацию горно-складчатых сооружений при орогенезе. Особую важность для исторической геологии представляет определение возраста изверженных пород, а также развитие магматических процессов во времени, закономерности пространственно-временного изменения и перемещения эндогенных режимов, которые контролируются соответствующими магматитами и, наконец, характер и условия смены разнородных вулканоплутонических проявлений. Все это определяет методику их изучения.

К главному методу изучения магматизма необходимо отнести геологическое картирование, которое является основным для определения возраста вулканоплутонических образований, выяснения их соотношения с вмещающими осадочными и метаморфическими породами, а также друг с другом. При геологической съемке не только устанавливается относительный возраст всех изверженных пород, но и по возможности выполняется определение изотопными методами их абсолютного возраста. Требования оформления геологических карт по одной из инструкций

предусматривают составление стратиграфической колонки, на которой в определенных возрастных интервалах и уровнях показываются откартированные магматические образования. Относительный возраст вулканических пород, кроме установления соотношения с вмещающими отложениями, может определяться и палеонтологическими методами — обычно по сборам флоры и фауны в туфах и вулканогенно-осадочных образованиях, которые переслаиваются с эффузивами или фациально их замещают.

В случае многообразия магматических проявлений и сложных их соотношений производится формационный анализ соответствующих образований; при использовании этого метода устанавливаются тектонические режимы времени их образования (геосинклинальные, орогенные, платформенные, условия тектономагматической активизации) и продолжительность соответствующих стадий. Изверженные породы объединяются при этом в определенные ассоциации, комплексы или формации и именуется обычно по названию преобладающих магматитов: например, андезит-липаритовая, андезит-базальтовая, спилит-кератофировая или дибазово-кремнистая геосинклинальные формации, трапповый платформенный комплекс (формация), щелочно-гранитоидная формация, формирующаяся в условиях тектономагматической активизации. Сходные по составу и близкие по возрасту эффузивные и интрузивные образования могут объединяться в комагматические комплексы, тектономагматические циклы, группируются в возрастные формационные колонки, где показана последовательность их образований.

Особенно важная роль формационного анализа магматических образований выявляется при изучении литосферных плит, решении различных вопросов новой глобальной тектоники. Выявление определенных магматических формаций позволяет предполагать соответствующие геодинамические режимы. Например, смешанные морские и континентальные андезитовые формации могут фиксировать островодужные обстановки, условия формирования островных дуг, знаменующих субдукцию — движение океанической плиты под материковую. Соответственно, континентальные вулканические проявления с излиянием кислых и средних лав, которые сопровождаются внедрением гранитоидов, знаменуют режимы, проявляющиеся обычно в условиях схождения материковых литосферных плит и сдвиговых перемещений.

Составной частью формационного анализа может быть составление карт магматических формаций, которые строятся для сравнительно больших площадей, разнородных в тектоническом отношении. В отличие от геологических карт на них главным объектом изображения являются разновозрастные и разные по составу магматические образования, которые показывают характер территориального и структурного их размещения, эволюцию вулканоплутонических процессов в формировании земной коры этих площадей. Примерами таких построений могут быть «Карта магматических формаций СССР», карта магматической формации Украинского щита и ряд других. К таким картам обычно прилагается схема возрастного соотношения разнородных магматических формаций, на основании которых может расшифроваться закономерность развития магматизма в схеме историко-геологического процесса. Разновидностью карт магматических формаций

могут быть карты и схемы магматических провинций (ранее они назывались «петрографическими провинциями»).

При установлении характера развития во времени сложного магматизма, по которому имеется большое количество определений абсолютного возраста, используется еще один очень распространенный метод – составление гистограмм. Это графические построения, на которых показывается количество проб с определенными значениями возраста. На соответствующих гистограммах видно, является ли изучаемый вулканоплутонический процесс равномерным во времени или в его развитии могут устанавливаться какие-то кульминации. Классическим примером подобного анализа и построений может быть изучение пермско-триасового вулканизма Сибирской платформы или позднеюрского-мелового магматизма Охотско-Чукотского вулканического пояса.

Еще одним методом историко-геологического изучения магматизма, который только начинает разрабатываться, может быть назван метод выявления тектономагматических рубежей. Он сводится к установлению возрастной границы вещественно и генетически разнородных вулканоплутонических проявлений в каких-то тектонических системах. Примером такого случая может быть смена базальтоидных излияний геосинклинального типа гранит-гранодиоритовыми орогенными комплексами, а также смена последних основными вулканитами платформенного типа («финальный вулканизм») или щелочно-гранитоидными комплексами этапа тектоно-магматической активизации. Выявление такой границы может осуществляться графическим способом, а сама граница либо быть геологически мгновенной (тогда она проводится одной линией), либо фиксировать случай, когда соответствующие изменения происходили в течение какого-то определенного интервала времени.

Этапы геологической истории

Рассмотрение истории земной коры должно базироваться на определенной периодичности – выборе тех этапов, которые наиболее полно и точно характеризовали бы интервалы времени со своеобразными условиями развития, отличающимися от более ранних и поздних. В основе такой этапности или периодичности должна лежать стратиграфическая или геохронологическая шкала. Однако для докембрия единой глобальной схемы расчленения не существует, а для фанерозоя его периоды и даже эры далеко не всегда отвечают наиболее существенной смене палеогеографических и структурно-геологических обстановок, проявлению геотектонических циклов, развитию всех групп органического мира, характеру осадконакопления и магматизма. Необходимость существования такой «естественной истории», «периодической системы истории» подчеркивали уже А.П. Карпинский (1894), Д.Н. Соболев (1926), М.К. Коровин (1950) и др., предлагая свои схемы историко-геологического развития земной коры.

Наиболее обоснованной схемой следует считать разделение всей земной истории на два крупных надэтапа – ранний, отвечающий архею и раннему протерозою, и поздний, или позднепротерозойско-фанерозойский. Они получили название протогея и неогей (палеохрона и неохрона). Каждый из этих надэтапов разделяется на несколько самостоятельных этапов, продолжительность и изученность которых различна. В частности, фанеро-

зойские этапы, примерно равновеликие, резко отличаются от докембрийских. Причиной этого является более детальная изученность фанерозойской истории, ее более высокая информативность (возможность фиксировать конкретные события, характеризовать отдельные материка, океаны, складчатые области и т. д.).

Ранняя история Земли

Это наиболее продолжительный и слабее всего изученный интервал времени. Выходы докембрия занимают около 20 % поверхности суши, а время их формирования составляет 85 % всей геологической истории. Докембрийские образования включают свыше 60 % минеральных ресурсов планеты, в том числе значительную часть таких важных, как железные руды, уран, золото, никель, медь и многие другие. В докембрийской истории четко выделяется ранний надэтап (4–1,65 млрд лет), включающих архей–ранний протерозой, который разделяется на ряд самостоятельных этапов.

Догеологическая история Земли начинается с момента образования планеты до начала архея. На основании определения возраста метеоритов и лунных пород различных расчетов предполагают, что наша планета как самостоятельное тело образовалась 5–6 млрд лет назад путем аккреции-гравитационного захвата и уплотнения космического вещества. Формирование ее протокоры началось 4,6–4,2 млрд лет назад. Важнейшим событием этой древнейшей истории была интенсивная космическая бомбардировка, которой планета подвергалась в интервале 4,6–3,9 млрд лет. Уплотнение земного вещества, космическая бомбардировка и другие причины вызвали ее плавление до глубины 600–700 км, образование на поверхности «магматического океана», что обусловило первичную дифференциацию в верхней зоне Земли, образование базальтового слоя, а также всплывание на поверхность гранодиоритовых и тоналитовых шлаков, превратившихся затем в «серые гнейсы». Бомбардировка и вулканизм стали причиной образования первичной атмосферы, которая резко отличалась от современной; она была бескислородной и включала азот, аммиак, уголекислоту, водяные пары, метан, водород, соляную и другие кислоты. По мере остывания Земли на ее поверхности начали появляться озерные бассейны.

В архейской истории обособляются три этапа – катархейский–древний архей, ранний и поздний архей. В катархее (4–3,5 млрд лет) формировались «серые гнейсы», залегающие в фундаменте большинства платформ. Основой для образования этих пород андезитодацитового состава была уже упоминавшаяся силикатная «накипь» (шлак). Подобные скопления с обычным возрастом 3,8–3,3 млрд лет известны в виде гнейсовых овалов – округлых структур с диаметром 50–200 км. В катархее началось накопление древнейших осадочных пород (3,7–3,6 млрд лет), формировавшихся в обширных бассейнах.

Ранний архей (3,5–3 млрд лет) характеризуется существованием уже устойчивых водных бассейнов, в которых образуются осадочные породы – хемогенные железисто-кремнистые и терригенные. Такие депрессионные структуры принято называть протогеосинклиналями. С возрастного уровня 3,6–3,5 млрд лет началось формирование зеленокаменных поясов –

структур, залегающих на эродированной поверхности серых гнейсов, которые сопровождаются обширными излияниями основных лав и трактуются обычно как рифтогенные. Примерно 3,3–3,2 млрд лет назад имели место воздымания и внедрение многочисленных калиевых гранитоидов, что содействовало образованию осадочной оболочки земной коры. В конце раннего архея на больших площадях проявилась складчатость, известная как кольская или саамская на Балтийском щите, трансваальский или гурийский орогенез в Африке, нилгри-мадрасский метаморфизм в Индостане. В результате этих процессов оформился достаточно мощный гранитно-метаморфический слой, началось формирование отдельных консолидированных структур.

Наконец, к началу архея относят еще одно важнейшее событие – появление жизни на Земле. В Южной Африке, Гренландии, на юге Канадского щита, на Украине и других районах обнаружены следы бактерий, нити сине-зеленых водорослей и остатки спороморфных образований. Из числа таких древнейших строматолитов необходимо назвать находки в Австралии с возрастом 3,5 млрд лет, бульвайской серии Родезии (3,2–2,9 млрд лет). Эти первые обитатели нашей планеты, заселявшие мелководные бассейны, жили в практически бескислородной среде. Жизнедеятельность сине-зеленых водорослей (цианофитов) приводила к увеличению кислорода в атмосфере и гидросфере. Таким образом, примерно с рубежа 3,5 млрд лет жизнь становится активным геологическим фактором. Гидросфера, или водяная оболочка не была лишь пассивной средой для развития биосферы; она в определенной степени и продукт самой жизни.

Поздний архей (3–2,6 млрд лет) трактуют обычно как стадию начавшейся структурной дифференциации земной коры. В это время продолжают формироваться зеленокаменные пояса или протозвгеосинклинали, разделенные протоплатформенными массивами, а также идет интенсивное образование парагнейсовых поясов (аналоги протомиогеосинклиналей), окаймляющих гранит-зеленокаменные области. Среди пород верхнего архея уже часто встречаются железистые кварциты; их образование определяется отсутствием или незначительным содержанием кислорода, что обеспечивало высокую миграционную способность железа и марганца. Возможна активная роль в этом осадкообразовании железобактерий.

В позднем архее продолжается дальнейшее развитие органического мира; появляются первые зеленые водоросли. В результате фотосинтеза начал появляться кислород и могли возникнуть «кислородные оазисы». В слоях с возрастом 2,8–2,6 млрд лет часто обнаруживаются строматолиты. Это карбонатные биогенные скопления, являющиеся продуктом жизнедеятельности сине-зеленых водорослей; их можно считать одной из первых органогенных пород. Еще одним продуктом жизнедеятельности мог быть графит, скопления которого известны в верхнем архее.

На данном этапе продолжается усложнение геосинклинального процесса. По набору формаций в составе протозвгеосинклиналей выделяют структуры с накоплением преимущественно вулканических и флишоидных образований. В развитии зеленокаменных поясов уже фиксируются геосинклинальные и орогенные режимы. Последние характеризовались воздыманиями и накоплением молассовой формации – плохо сортированной, грубо-

обломочной (например – тимискамингский комплекс Северной Америки, шамвайская серия и комплекс Модис в Южной Африке). Наряду с выразительными геосинклинальными процессами в позднем архее начинается формирование древнейших платформ. Самый древний на планете протоплатформенный чехол изучен в Южной Африке, где он представлен комплексом Витватерсранд (пестроцветные косослоистые кварциты, золото- и ураносодержащие конгломераты, прослои глинистых сланцев). Такого рода массивы древней консолидации вместе с вновь образованными складчатыми областями составили основу ряда платформ.

Конец архея характеризуется активным тектогенезом и гранитоидным магматизмом, которые образуют две основные эпохи. Первая из них с возрастом около 2,85 млрд лет проявлена беломорской складчатостью на Балтийском щите, раннематурским орогенезом в Гренландии, начальным метаморфизмом в пределах Украинского щита. Более интенсивными были разнообразные тектономагматические процессы в конце архея, статистический максимум которых относится к 2,6 млрд лет и обычно принимается за границу архея и протерозоя. Это родезийский диастрофизм в Африке, обусловивший оформление Южно-Африканской платформы, ребольская складчатость Балтийского щита, дарварская орогения и метаморфизм в Индокитае, время формирования метавулканических поясов в Становой области Сибири, возможно, кеноранская складчатость в Северной Америке, позднематурский орогенез в Гренландии.

Ранний протерозой, возраст которого по принятым у нас представлениям составляет 2,6–1,65 млрд лет, может рассматриваться как начальная стадия развития земной коры с геосинклинальными и платформенными режимами. Это время существования платформ, между которыми продолжали существовать протогеосинклиники. По своим тектоническим и историко-геологическим особенностям ранний протерозой близок к позднему архею, что дает основание для объединения их в один надэтап. Свообразием раннего протерозоя следует считать резко повышенную рудоносность формирующихся в это время отложений.

Нижнепротерозойские комплексы распространены практически в пределах всех платформ и представлены разнообразными в генетическом отношении породами, которые образуют четыре основные ассоциации: вулканогенных и вулканогенно-осадочных образований, терригенных морских и континентальных отложений, кремнисто-глинистых и железистых кварцитов, а также пока еще редких карбонатных пород (известняки, доломиты). Особенностью нижнего протерозоя можно считать резкое возрастание континентальных терригенных образований – орогенных и красноцветных платформенных.

На данном этапе усилилась дифференциация палеогеографических обстановок, проявилась сложная их зональность, имело место частое чередование климатов. Результатом этого было формирование, наряду с красноцветами, многочисленных углеродосодержащих отложений: воронцовская серия флишоидных углисто-терригенных пород и оскольская серия Воронежского массива, графитовые сланцы в ингулецкой серии Украинского щита, шунгиты в ятулийском комплексе Балтийского щита, углистые сланцы в серии Франсвилль, графитовые сланцы серии Адола в Африке и т. д.

Особый промышленный и историко-геологический интерес вызывает формирование железистых кварцитов, или джеспилитов, образующих большие скопления в самых различных районах: это криворожская серия Украинского щита, курская серия Воронежского массива, железорудные пласты гуронского комплекса Северной Америки, железорудная серия Большого Хингана. Предполагается, что накопление тонкослоистых ритмических рудоносных толщ большой мощности (до 1,5 км в Криворожье, до 2,5 км на Курской магнитной аномалии) могло быть обусловлено своеобразными биогеохимическими процессами этого времени: периодическим возрастанием биомассы сине-зеленых водорослей и, как следствие, увеличением содержания кислорода, что должно было вызвать переход растворенных закисных соединений в трудно растворимые окисные, которые и осаждались. Аналогично формировалась и меденосная удоканская серия Алданского щита. В последнее время накопление большого количества железа связывают с его космическим поступлением, встречей Земли с грандиозным поясом железистых метеоритов.

В нижнем протерозое Северной Америки (гуронский комплекс), в основании верхнего его осадочного цикла, называемого серой Кобальт, залегают тиллиты — следы самого древнего на Земле оледенения из числа достоверно известных. Данное оледенение получило название гуронского, и возраст его определяется в 2,3 млрд лет. Возможно, что синхронными ему являются тиллиты серии Претория в Африке (середина среднего протерозоя, прорываемого гранитами с возрастом 1,8 млрд лет).

В течение раннего протерозоя имело место неоднократное проявление складкообразования, регионального метаморфизма и диастрофизма. Среди них следует различать тектогенез с возрастом 2,3–2,2 млрд лет (селецкая складчатость Балтийского щита, пенокийская орогения Северной Америки, трансамазонский орогенез Южной Америки, позднедарварская орогения Индостана, крупная структурно-геологическая перестройка в Китае на границе этапов хуто и утай), а также перестройка с возрастом около 2 млрд лет (эбурнейский орогенез Африки, движения Дабешань и орогения Лулян в Китае, региональная гранитизация на Сибирской платформе). Но наиболее значительными были тектономагматические события в интервале 1,8–1,65 млрд лет. Среди важнейших проявлений этой группы были гудзонская и мазатальская орогении Северной Америки (1,8–1,65 млрд лет), карельская и свекофенская складчатости Балтийского щита, событие Стренгуэйз, или главный диастрофизм, а также событие Эйлерон в Австралии (1,8 и 1,7 млрд лет), гвианская складчатость, метаморфизм и гранитизация в Южной Америке (1,8 млрд лет), санерутский орогенез Гренландии, восточногатская орогения Индостана (1,6 млрд лет). Эти сближенные во времени проявления тектогенеза, сопровождающиеся внедрением многочисленных гранитоидов, обусловили обширную консолидацию материковых структур, или их кратонизацию, которая подготовила крупнейшую структурно-геологическую перестройку на границе раннего и позднего протерозоя, обусловила «великое обновление» земной коры.

Поздняя история Земли

Поздняя история развития земной коры, называемая также неогеем или неохроном, отвечает позднему протерозою и фанерозою. Она начинается с великого обновления, возрастной уровень которого принимается

в 1,65 млрд лет. Это стадия развития типичных платформенных и геосинклинальных структур, переросшая в последней трети фанерозоя в стадию формирования литосферных плит и срединно-океанических хребтов. Структурный план складчатых сооружений неогей резко отличается от более древнего. Для поздней истории характерны свои особенности палеогеографического развития и условий осадконакопления, среди которых нужно назвать постепенное возрастание органогенной седиментации (карбонатные породы, а затем угли и различные кремнистые породы — радиоляриты, опоки и др.), более резкая дифференциация тектогенеза, рельефов и климатов. В составе неогей можно выделить позднепротерозойский надэтап, близкий по длительности к архейскому или раннепротерозойскому, а также значительно более кратковременные этапы фанерозоя, которые, однако, можно охарактеризовать более детально.

Позднепротерозойский надэтап

Поздний протерозой в современном его понимании (1,65—0,57 млрд лет) включает такие геохронологические подразделения, как рифей и венд, начавшиеся примерно 0,7 млрд лет назад. Это переходный от раннего докембрия к фанерозою интервал времени, в течение которого структурный план и характер развития оставались более или менее однотипными. Среди седиментационно-палеогеографических его особенностей необходимо назвать постепенное возрастание терригенного и карбонатного осадконакопления, а среди климатических — увеличивающуюся аридизацию. Наиболее яркой чертой надэтапа следует считать самое продолжительное в истории Земли оледенение, развивавшееся в последнюю его треть (950—640 млн лет). Наконец, в позднем протерозое достаточно активно развивается органический мир, подготовивший поздневендско-раннекембрийский биологический взрыв — оформление эдиакарской (вендской), а затем скелетной фанерозойской фауны.

В дополнение к сине-зеленым водорослям раннего протерозоя с этого надэтапа развиваются также зеленые и красные водоросли. Причем наряду с бентосными формами появляются планктонные. В верхах рифея встречаются следы илоидов и копролиты, которые трактуются как доказательство появления первых многоклеточных животных. Органические образования позднего протерозоя позволяют производить межрегиональное сопоставление содержащих их отложений на биостратиграфической основе, что знаменует качественно новые условия его изучения.

По представлениям Л.И. Салопа, Ч.Б. Борукаева и др. исследователей, началу позднего протерозоя предшествует переломный этап, в течение которого незрелая сиалическая земная кора в результате процессов активного тектогенеза и сиалического магматизма (субсеквентный вулканизм, внедрение многочисленных гранитоидов) переходит в зрелую. К этому времени оформляются все древние платформы, а также разделяющие их геосинклинальные складчатые пояса. Одним из проявлений такой перестройки является резко различный структурный план архейско-раннепротерозойских и позднепротерозойских складчатых сооружений, что мы можем наблюдать на примере Украинского и Канадского щитов, юго-востока Сибирской платформы и др. На всех этих платформах начинается формирование осадочного чехла.

В течение раннего протерозоя оформились все основные складчатые пояса (Средиземноморский, Атлантическо-Арктический, Урало-Монгольский), активно развивавшиеся и в течение какой-то части фанерозоя, а также с раннего протерозоя продолжали свое развитие Внутриафриканский и Бразильский подвижные пояса, консолидированные лишь к концу надэтапа. В Северной Америке поздние протерозойды наиболее полно представлены в пределах Гренландского пояса, консолидация которого имела место в гренвилевскую эпоху тектогенеза (1,1–0,9 млрд лет). Верхнепротерозойские складчатые сооружения почти повсеместно распространены в Урало-Монгольском поясе. Выделение в Центральном Казахстане, Тянь-Шане, КызылКумах и др. районах исседонской складчатости с возрастом 1,15–1,1 млрд лет (Зайцев, 1971) и синхронной гренвилевской позволяют обосновывать существование единого подвижного пояса.

Палеогеографические обстановки позднего протерозоя были достаточно разнообразными. В течение данного надэтапа существовала система материков, разделенная океаническими бассейнами, которые были на месте соответствующих поясов – Япетус в Северной Атлантике, Прототетис в Средиземноморском, Центральном-Азиатском и Палеопацифика на месте Тихого океана. Рельеф континентальных площадей был достаточно расчлененным, о чем свидетельствует широкое распространение терригенных отложений, но пологим, обусловившим формирование красноцветов. Предполагается, что содержание кислорода в рифейской атмосфере достигало 1 % от современного, что было достаточным для появления в венде бесклеточной фауны. Характерной чертой позднепротерозойского осадконакопления была четко проявленная седиментационная цикличность, которую четко можно наблюдать на примере стратотипического разреза рифея, но с меньшей, чем в фанерозое, скоростью этого процесса.

Достаточно уверенно можно восстанавливать историю позднепротерозойского оледенения. Наиболее древние его проявления с возрастом 950–850 млн лет установлены в Африке (раннеконголезское), а также в Китае и Австралии. В раннем венде оледенение охватило практически все материки, оно рассматривается как крупнейшее во всей истории. Следы его известны на юге Восточно-Европейской платформы, Урале, в Скандинавии, Казахстане, Китае, Австралии, Гренландии, Аппалачах, Бразилии. Оно получило название лапландского или варангерского и обычно определяется значениями 670–640 млн лет. Вероятно, холодные условия этой ледниковой эры сдерживали развитие органического мира рифея.

Поздний протерозой не был однородным в тектоническом отношении; в течение данного надэтапа проявилось по крайней мере три эпохи складчатости с возрастом 1,4–1,2 млрд лет (эльсонская, готская, аравалийская), 1,1–0,9 млрд лет (гренвилевская, дальселандская, кибарская, минасская, исседонская, эпикарпентарская) и 0,8–0,65 млрд лет. Последняя эпоха получила в Евразии название байкальской, а в Африке катангской, или дамарской. Байкалиды значительно нарастили Сибирскую и Китайскую платформы, а соответствующий тектогенез консолидировал составные части Африкано-Аравийской и Южно-Американской платформ.

Еще одной особенностью позднепротерозойского надэтапа было формирование на платформах своеобразных прогибов, получивших название авлакогенов. Первоначально выделенные на Восточно-Европейской платформе прогибы (Пачелмский, Оршанский, Беломорский, Волынский и др.) за-

тем были обнаружены и на других платформах и материках. Их типовой структурой является прогиб Большого Донбасса и система Вичита Северной Америки. Это позволяет рассматривать рифей как авлакогенную стадию развития древних платформ. С позднего венда воздымания, расколы, рифтогенез и обширные излияния базальтовых лав на платформах сменяются трансгрессиями и формированием синеклиз (синеклизная стадия).

Поздневендский—раннекембрийский этап

Пограничный между докембрием (криптозоом) и фанерозом этап с возрастным интервалом 630—550 млн лет характеризуется важными историко-геологическими и палеонтологическими чертами, позволяющими выделять его в истории Земли. Главным событием данного времени стало появление в середине венда своеобразной фауны, получившей название эдиакарской или вендской, которая сменялась скелетной фауной фанерозоя. В низах палеозоя «внезапно» обнаруживаются представители почти всех типов животного царства, имевшие, к тому же, минеральный, обычно карбонатный скелет. Данный возрастной уровень принимался за нижнюю границу палеозоя, его кембрийской системы.

Однозначного объяснения этому феномену нет. Не найдена и единая причина, объясняющая подобные «эволюционные взрывы»; возможно, их было несколько. По литологическому составу верхний венд обычно резко отличается от нижнего и обнаруживает сходство с нижним кембрием, образуя с ним единый формационный комплекс. Это существенно терригенно-глинистые отложения в Европе, Австралии, Северной Америке, Африке и карбонатные в Сибири и Китае. Следовательно, резкие изменения тектонических режимов и седиментационно-палеогеографических обстановок можно предполагать лишь в середине венда (весьма выразительная структурно-геологическая перестройка на возрастном уровне 630 млн лет, фиксируемая на всех материках) и их отсутствие на границе докембрия и кембрия. Отсутствие в верхнем венде ледниковых отложений свидетельствует о потеплении климата, таянии огромных ледниковых масс и в результате — крупной трансгрессии, с началом которой формируется обширный осадочный чехол на многих платформах. Возможно, что именно улучшение климатических и палеогеографических обстановок содействовало появлению и расцвету эдиакарской фауны.

Сложнее объяснить появление у фауны скелета. Причиной этого могло быть резкое возрастание солености мирового океана, а также воздействие на органический мир Земли жестких космических или радиоактивных излучений, меняющих их генную и хромосомную структуру и усиливающих мутационную изменчивость. Такое явление вполне логично ожидать в позднем венде, когда после длительного позднепротерозойского оледенения (950—640 млн лет) с его вероятными туманами, густой низкой облачностью и высокими испарениями Земля стала открыта небу. Данных о возрастании солености вод мирового океана нет; скорее наоборот — можно ожидать их резкое опреснение, вызванное таянием ледников. Первые значительные скопления солей известны с конца раннего кембрия, когда имело место уже позднее появление скелетной фауны.

Хорошее обоснование одновременности появления скелета у разных групп морских животных дает Г.П. Леонов (1985). Он предполагает, что

в позднем венде осуществлялась миграция пресноводной мелководной фауны, которая спасалась от космического облучения, в глубоководные бассейны. Таким образом, не мировой океан, как это принято считать, был родиной современного органического мира, а материковые бассейны. Эта первая широкая экспансия пресноводных обитателей в морские и океанические бассейны завершилась неудачей; большинство данных групп не смогли приспособиться к жизни в соленых водах и почти полностью вымерли. Возможно, что результатом такого активного органогенного продуцирования было обогащение фосфатами пограничных вендско-кембрийских отложений. Следующая новая экспансия органического мира в моря совпала с раннекембрийской трансгрессией и прошла успешно. Великое вымирание на границе эонов резко активизировало приспособляемость и изменчивость эволюционирующей биоты, содействовало расцвету приспособившихся к новым условиям животных.

В целом поздневендский-раннекембрийский этап характеризуется возросшей по сравнению с рифеем дифференциацией тектонических режимов. Это время проявления активных эвгеосинклинальных режимов в отдельных тектонических системах. Подобные вулканогенно-кремнистые комплексы известны в Алтае-Саянской области (Кузнецкий Алатау, Саян, Горный Алтай, Салаир, Томь-Кольванская область), Центральном Казахстане, Северном Тянь-Шане, Южной Монголии и др. областях Монголо-Охотского пояса. В других тектонических системах имели место режимы противоположного типа. Так, в байкалидах Африки, Южной Америки и Индостана рассматриваемый этап характеризуется резкой активизацией гранитоидного магматизма. Это время так называемой панафриканской орогении и тектоно-магматической активизации, завершения бразильского геотектонического цикла и других аналогичных проявлений, которыми была обусловлена консолидация Гондваны. Такая контрастность различных тектонических режимов может быть либо результатом более детальной изученности рассматриваемого этапа, либо особенностью, отличающей ее от позднего протерозоя.

Раннепалеозойский этап

Раннепалеозойский этап — это интервал времени от конца раннего кембрия до конца силура, что в абсолютном исчислении составляет 550—400 млн лет. Это время талассократических обстановок и обширных геосинклинальных режимов на площадях современных материков; в активные прогибания вовлекаются различные области Атлантического и Урало-Моногольского поясов. Большинство платформ представляло собой тогда низменные суши, мелководные моря или системы островов. Из материков достаточно крупным была лишь Гондвана; небольшими участками суши были также Северная Америка и частично Восточно-Европейская и Северно-Китайская платформы. В течение данного этапа происходит консолидация салаириды (орогенная стадия их развития) и формирование ранних каледонид.

Структурно-геологическую перестройку, которая завершила позднебайкальскую консолидацию материков, следует считать началом раннекембрийского этапа. Аналогичной была и среднеордовикская перестройка, возраст которой около 480 млн лет; она разделяет ранний палеозой на два равновеликих интервала времени. По продолжительности ранний палеозой

двое превышает все остальные рассматриваемые нами этапы фанерозоя; однако такое его объединение и выделение производится на основании структурно-геологической и историко-геологической близости этих двух его подэтапов. Следовательно, рассматриваемый этап включает три первых периода палеозоя: кембрий (без ранней его эпохи), ордовик и силур. Общие сведения об этих системах можно найти практически во всех учебниках по исторической геологии.

Органический мир раннего палеозоя характеризуется становлением и развитием всех типов животных и низших растений. Представители его обитали преимущественно в воде, что позволяет этап в целом называть талас-созоем, или эрой морской жизни. Среди основных групп животного мира необходимо назвать трилобитов, беззамковых брахиопод, головоногих моллюсков, граптолитов, иглокожих (цистоидеи). Для второй половины этапа характерно обновление органического мира: появились бластоидеи и криноидеи (иглокожие), четырехлучевые кораллы, атрипиды и спирифериды (брахиоподы). Важным событием развития органического мира раннего палеозоя было первое великое вымирание, произошедшее на границе ордовика и силура, когда исчезло около 40 % родов морских животных.

Среди основных структурно-геологических элементов этапа необходимо назвать существование суперматерика Гондвана; небольшие материка были на месте Северной Америки, Восточной Европы. Наиболее выразительными океанами были Япетус, располагавшийся на месте нынешней Северной Атлантики, и Урало-Монгольский, относящийся к одноименному складчатому поясу. Размещение раннепалеозойских структур резко отличается от современного. Палеомагнитные, палеоклиматические и палеонтологические данные свидетельствуют о том, что Гондвана располагалась в высоких широтах южного полушария с прохладным, а иногда холодным климатом и бедной фауной. Следствием раннекаледонских воздыманий и прохождения Гондваны через приполярные районы было сравнительно небольшое позднеордовикское оледенение. Платформы Лавразии, в том числе Сибирская, располагались в низких широтах близ экватора, в зоне с жарким влажным, а временами засушливым аридным климатом, здесь проходило формирование карбонатных пород, красноцветов, эвапоритов. Ширина Япетуса составляла до 2000 км, значительно уступая нынешним размерам Атлантического океана; Палеоазиатский океан имел ширину до 4000 км, а Уральская его ветвь — 1500 км.

Структурный план и палеогеографические обстановки раннего палеозоя оставались однотипными; уровень мирового океана этого времени оставался выше современного. Некоторое сокращение морских площадей фиксируется в конце кембрия, в конце среднего ордовика, в конце ордовика и в конце силура. Наиболее выразительные трансгрессии были в позднем кембрии, среднем и позднем ордовике (ашгильский век). В климатическом отношении первая половина этапа характеризуется потеплением, продолжавшимся до позднего венда—раннего кембрия. Во второй половине имело место похолодание, сопровождавшееся локальным оледенением (Южная и Северная Америка, Северная Африка, Европа).

Осадконакопление характеризуется формированием сравнительно однообразных глинистых и карбонатно-терригенных отложений со сложными фациальными замещениями. Свообразными и достаточно распространен-

ными были глубоководные глинистые породы с отпечатками граптолитов (графтолитовые сланцы). Наиболее обширное накопление карбонатов расположено в восточной части Азии (Северо-Восток, Сибирская платформа, Северный Китай и др.). Континентальные красноцветы встречались редко.

Магматизм геосинклинального типа известен в осевых зонах областей Атлантического и Урало-Монгольского поясов. Местами такие вулканы достигают больших мощностей (Прибалхашье, Шотландия). Орогенные сиалические комплексы развиты на небольших площадях (Алтае-Саянская область, Северный Тянь-Шань, Центральный Казахстан, Забайкалье, Аппалачи).

Тектонические движения раннего палеозоя сравнительно слабо изучены. Многие исследователи подчеркивают вялое развитие тектогенеза и, как следствие, его невыразительность. Первая половина этапа отвечает времени салаирского орогенеза, известного в самых различных регионах: Алтае-Саянской области, Закарпатье, на Дальнем Востоке, Урале. Зоны этой консолидации разделялись морскими и океаническими бассейнами с прогибаниями весьма умеренной интенсивности. Во второй половине этапа формировались ранние каледониды (таконский или алтайский орогенез), районами наиболее выразительного проявления которого были Атлантический и центральная часть Урало-Монгольского поясов. Многочленные тектонические фазы не имеют, как правило, обоснованной датировки. Структурно-геологическая перестройка в середине ордовика не изменила сколько-нибудь существенно палеогеографический и тектонический план земной поверхности.

Среднепалеозойский этап

Интервал времени, включающий девон и первую половину раннего карбона (400–325 млн лет), выделяют как среднепалеозойский этап. Он характеризуется своим структурно-геологическим планом, своеобразием тектогенеза и осадконакопления, большим разнообразием магматических проявлений. Это время существования материков Гондвана, Лавразия и Ангариды; тогда же оформляются Палеотетис и Урало-Монгольский (Уральский и Центрально-Азиатский) океаны. Данный этап соответствует проявлению позднекаледонского орогенеза и формированию каледонид, а также времени активных геосинклинальных прогибаний в герцинидах. Началом этапа следует считать структурно-геологическую перестройку, имевшую место на границе силура и девона (арденская, эрийская и др. тектонические фазы).

Важной особенностью развития органического мира на данном этапе был активный выход на земную поверхность растений и животных, который является следствием начавшейся в конце силура глобальной регрессии. Это время кратковременного формирования своеобразных растительных групп – псилофитов и прогимноспермовых. К концу раннего — началу среднего девона наряду с риниофитами существовали все основные группы споровых растений – плауновидные, членисто-стебельные папоротники, а к концу девона появились первые голосеменные растения.

Среди представителей животного мира в среднем палеозое развивались тентакулиты и плакодермы; продолжается расцвет криноидей, брахиопод, трилобитов, ругоз, бесчелюстных позвоночных. Из водных позвоночных

господствовали рыбы — панцирные, хрящевые и костные; особенно многочисленными они были в девоне, поэтому его иногда называют «периодом рыб». Максимального развития достигают замковые брахиоподы; особым богатством характеризуются спирифериды, атрипиды, ринхонеллиды и теребратулиды, которые являются важнейшими для разработки стратиграфических схем. В позднем девоне появились первые земноводные — стегоцефалы. Вместе с тем исчезают или сокращаются цистоидеи, эндоцератиты, граптолиты.

Структурный план среднего палеозоя существенно отличается от раннепалеозойского. Произошло закрытие Япетуса, на месте которого сформировались поздние каледониды Атлантического пояса. Гондвана и Лавразия были разделены оформившимся океаном Палеотетис, который протягивался от герцинид Европы через Кавказ и Гималаи до Тихого океана. Вероятно, через Мексиканско-Аппалачскую область Палеотетис выходил в Восточную Пацифику. Вторым хорошо изученным океаном был Урало-Монгольский, соединявшийся с Тихим через бассейны Таймыра, Верхоянья на севере и Монголо-Охотским прогибом рифтового типа на юге. Он оконтуривал Ангарду — небольшой материк, расположенный на месте Сибирской платформы.

Закрытие в конце раннего палеозоя Япетуса (Северной Атлантики) и формирование здесь горно-складчатых сооружений обусловило соединение Северной Америки с Европой; образовавшийся при этом континент получил название Лавразии. Формировавшиеся на месте сочленения каледониды окаймлялись системой лагунных и континентальных бассейнов, в которых в первой половине девона накапливались красноцветы (они называются древним красным песчаником, или олдредом), а соответствующий континент именуют иногда Красным.

Средиземноморский и Урало-Монгольский пояса, на месте которых располагались соответствующие океаны, испытывали в среднем палеозое активные прогибания, сопровождавшиеся подводным вулканизмом. Данные геосинклинальные процессы развивались одновременно с позднекаледонским орогенезом, наиболее четко проявленным в Центральном Казахстане, Северном Тянь-Шане, частично в Алтае-Саянской области и Северной Монголии, а также в Атлантическом поясе. Орогенез сопровождался внедрением многочисленных гранитоидов и наземными излияниями кислых и средних лав; в Казахстане в это время сформировался один из первых наземных вулканических поясов в фанерозое.

Особый интерес в среднепалеозойской истории представляет формирование трансматериковой рифтовой системы, расщелившей Лавразию и обрамлявшей ее с востока. Она включает прогибы Вичита в Северной Америке, ряд рифтов Западной Европы, Сарматский рифт (прогиб Большого Донбасса) и далее через Туранскую плиту и Северный Тянь-Шань протягивается в пределы Куньлунь-Циньлинской системы Северного Китая. Далее рифтовая система поворачивает на север, и ее продолжение может фиксироваться в Корее, Японии (рифт Мотаи), вероятно, осевой зоне Сихотэ-Алиня и на Северо-Востоке (Сетте-Дабанский, Арга-Таский, Алазейско-Олойский и др. рифты). Природа данного рифтогенеза может быть объяснена сжатиями в системах Северной Атлантики и Юго-Восточной Азии, обусловившими сводовые воздымания каких-то зон материковых площадей, которые затем раскалывались, формируя рифты.

Палеогеографические обстановки среднего палеозоя существенно отличаются от раннепалеозойских. С конца силура и в первой половине девона на обширных площадях проявлена регрессия, сменившаяся позднедевонским наступлением моря, а затем весьма обширной «великой визейской» трансгрессией. Этап характеризуется большим разнообразием условий осадконакопления, в том числе формированием самых разных платформенных и геосинклинальных формаций – карбонатных, терригенных, вулканогеннокремнистых, красноцветных. Со второй половины этапа начинается накопление гумусовых углей, а ко второй половине девона относится активное соленакопление (прогиб Большого Донбасса и др.).

Тектонические движения среднего палеозоя характеризуются контрастностью и выразительностью проявления. По материалам изучения в Европе и Северной Америке для этапа устанавливается порядка 20 трансгрессивно-регрессивных перемещений, что свидетельствует о возрастании тектонической подвижности. Структурно-геологическая перестройка на границе силура и девона сопровождалась активным складкообразованием. Не менее интенсивными были деформации в середине девона, вероятно, в живетском веке. Данный тектогенез известен под названием акадской фазы в Европе и Северной Америке, тельбесской фазы в Алтае-Саянской области, складчатости Таббераббера в Австралии. В целом средний палеозой начинается переломную стадию фанерозойского развития Земли. К этому времени завершилось длительное развитие Северной Атлантики, а среднепалеозойский рифтогенез начал активное позднепалеозойское и мезокайнозойское геосинклинальное развитие в Тихоокеанском поясе Азии.

Позднепалеозойский этап

Поздний палеозой представляет собой четко обособленный этап, который находит отражение в своеобразных седиментационно-палеогеографических и тектоно-магматических проявлениях. Это время существования единого материка (Пангея), орогенных режимов в Урало-Монгольском и Средиземноморском поясах и обширных геосинклинальных прогибаний вдоль Восточной Азии (Тихоокеанский пояс). Седиментация характеризуется формированием крупнейших угольных и соляных скоплений, а магматизм – наземных вулканических поясов в Евразии. Важной особенностью позднего палеозоя было крупнейшее в фанерозое гондванское оледенение. Началом этапа следует считать структурно-геологическую перестройку в конце визейского века (325 млн лет), сопровождавшуюся схождением всех материков воедино, а завершение – первыми расколами Пангеи, имевшими место 245–250 млн лет назад.

Палеонтологическими особенностями этапа было начало формирования или активное развитие таких групп растительного мира, как птеридоспермовые и кордаиты, а среди споровых растений – плаунов и членисто-стебельных (хвощей); в первой половине этапа интенсивно произрастают папоротники. Среди животного мира появляются амфибии и рептилии, испытывают расцвет фораминиферы, криноидеи; продолжают развиваться брахиоподы, мшанки, остракоды. Многие другие среднепалеозойские группы животных вымирают, и среди них граптолиты, плакодермы, бесчелюстные, тентакулиты, хиолиты, палеозойские строматопораты; среди растений исчезли прогимноспермовые и псилофитовые. Породообразующая роль био-

сферы нашла выражение в обширном накоплении карбонатных пород на платформах Лавразии, каустобиолитов (углей) практически на всех материках и кремнистых пород в Тихоокеанском поясе. К концу палеозоя относится одно из крупнейших в фанерозое вымираний в органическом мире.

Главными структурными элементами Пангеи были молодые горно-складчатые сооружения Урало-Монгольского и Средиземноморского поясов (герциниды), сформировавшиеся на месте среднепалеозойских океанов; восточная часть Палеотетиса сохранилась в виде глубокого залива, протянувшегося вдоль материковой окраины до Сихотэ-Алиня и Корякского нагорья. Второй залив проникает через бассейны Верхоянья, Таймыра и Новой Земли до Приуралья. Горные сооружения разделяли Пангею на ряд палеофлористических провинций и областей: гондванскую, или глоссоптерисовую, европейско-американскую, ангарскую и др. Глубокие океанические бассейны существовали вдоль восточной окраины Азии (Япония, Сихотэ-Алинь, Корякское нагорье, Индокитай), и их следует рассматривать как восточное продолжение Палеотетиса. Платформы Гондваны и Сибири испытывали в позднем палеозое преимущественные воздымания в отличие от платформ Лавразии (Восточно-Европейская, Северо-Американская, Китайская).

Палеогеографические обстановки позднего палеозоя характеризовались резкой дифференциацией рельефов и климатической зональности. Результатом размещения гондванской части Пангеи в районах Южного полюса стало обширное оледенение, следы которого фиксируются в Африке, Индии, Австралии, Южной Америке. Вероятно, это был достаточно продолжительный ледниковый период (до 60 млн лет), начавшийся в конце визе и проявленный отдельными эпохами региональных и глобальных похолоданий. В целом климат этапа характеризуется гумидизацией в первой его половине и дифференциацией рельефов и аридизацией – во второй.

Осадконакопление характеризуется формированием крупнейших скоплений угленосных отложений (угли этого возраста составляют около половины мировых запасов), обширной карбонатной седиментацией в Лавразии, накоплением морских терригенных отложений на Северо-Востоке и континентальных в пределах гондванской части материка и Сибири, а также обширным соленакоплением (Приуралье, Прикаспий, Днепровско-Донецкая впадина, Северное море). Угленосные отложения образуют два основных пояса: среднекаменноугольный, протягивавшийся от Донбасса до Северной Америки, и среднепермский (Воркута, Таймыр, Кузбасс, Восточный Китай, Индостан, Восточная Австралия). Вдоль восточной окраины Азии формировались вулканно-кремниевые образования эвгеосинклинального типа, а в центральных районах Евразии – наземные орогенные вулканические пояса, протягивавшиеся от Европы через Кавказ, Среднюю Азию, Южный Казахстан, Южную Монголию, Забайкалье, Северо-Восточный Китай и Юго-Западное Приморье. С позднего карбона и в течение почти всей перми возрастают масштабы красноцветной седиментации.

Магматизм позднего палеозоя характеризовался преобладанием орогенных проявлений, в меньшей степени геосинклинальных и платформенных. Наземные излияния кислой и средней лав, максимум которых относится к середине перми, сопровождались внедрением многочисленных

гранитоидов, которые консолидировали Пангею. Вместе со среднепалеозойским орогенным магматизмом это был надэтап наиболее выразительной в фанерозое кратонизации. Общая протяженность системы наземных позднепалеозойских вулканических поясов намного превышала 10 тыс. км и была, по всей видимости, наиболее крупной в истории Земли. Вдоль Восточной Азии активные геосинклинальные прогибания сопровождались подводными излияниями базальтовой лавы.

Тектонические движения позднего палеозоя были весьма выразительны и детально изучены. К их числу относится поздневизейская структурно-геологическая перестройка и герцинский орогенез, развивавшийся в интервале 325–250 млн лет. В его составе четко выделяются такие тектонические фазы, как судетская, астурийская, заальская и их возрастные аналоги в других районах Земли. Вместе с тем, поздний палеозой был временем формирования кратковременно развивающихся геосинклиналей, таких как Донецкая, Японская (Титибу), Индокитайская, Южно-Памирская. Середина перми была временем дифференциации тектонических режимов, когда активизация прогибаний в одних системах сопровождалась интенсивными воздыманиями в других. Вероятно, это было причиной образования резко расчлененного рельефа и разных седиментационно-палеогеографических обстановок на соседних площадях, в том числе с накоплением в прилегающих регионах угленосных и соленосных образований

Раннемезозойский этап

Ранний мезозой рассматривается как начальный этап мезозойско-кайнозойской геологической истории, знаменующий переход от времени средне- и позднепалеозойской кратонизации и консолидации материков к началу формирования молодых океанов и оформления современных литосферных плит. По времени он отвечает триасу—средней юре (245–165 млн лет); началом этапа следует считать структурно-геологическую перестройку в конце перми (середина татарского века), которая обусловила расколы Пангеи. С тектонической точки зрения ранний мезозой должен рассматриваться как время проявления индосинийской орогении и геосинклинальной стадии киммерийского цикла.

Особенностью органического мира этого времени был переходный его облик от палеозойского к мезокайнозойскому. Главным биотическим событием в начале данного этапа было великое вымирание на границе палеозоя и мезозоя, в результате которого исчезло около половины семейств и свыше 90 % родов морских животных. Следствием данного вымирания было исчезновение таких групп животных, как четырехлучевые кораллы (ругоза), табуляты, бластоидеи, палеозойские мшанки и криноидеи, а из растений кордаитовые и плауны. В раннем мезозое, главным образом во второй его половине, появляются шестилучевые кораллы, аммониты, белемниты, мезозойские мшанки и строматопораты. Это время начала расцвета морских ежей, насекомых и, возможно, появления млекопитающих, чему способствовало дальнейшее разрастание континентальных площадей. Из растений вымирают птеридоспирмовые, появляются бенеттитовые и саговниковые, происходит некоторое возрастание папоротниковых и хвойных. Позвоночные в морях претерпели коренные изменения: поменялся состав рыб, появились крупные плавающие рептилии – ихтиозавры, плезиозавры.

Структурный план этапа изменился по сравнению с предыдущим. Гондвана и Лавразия стали двумя самостоятельными суперматериками, разделенными океаническим бассейном Тетис. Они испытывали преимущественные воздымания, следствием чего были деструктивные процессы. Раннемезозойское развитие Тетиса началось с расколов рифтового типа, известных в Индокитае, Юго-Восточном Памире, Загросе, Альпах, Крыму. Вторая наиболее значительная линия подобных расколов протягивалась от Западной Сибири через Памир и вдоль восточной окраины Африки (Мозамбикский пролив), а также, вероятно, вдоль Северной Атлантики.

Палеогеографические обстановки раннего мезозоя были достаточно однообразными. В целом, это четко выраженный геократический этап развития земной коры, прерывавшийся кратковременными региональными трансгрессиями в поздней триасе и средней юре. Сокращение морских площадей этого времени было самым значительным за всю палеозойско-мезозойскую историю. Сколько-нибудь значительные горные сооружения отсутствовали; они были локализованы главным образом в Юго-Восточной Азии, Забайкалье, Монголии. Для раннего мезозоя были характерны преимущественно сводовые воздымания, осложнявшиеся позднетриасовыми и среднеюрскими дифференцированными тектоническими движениями. Климатические условия характеризовались аридизацией в первой половине этапа и гумидизацией во второй.

Осадконакопление раннего мезозоя резко отличается от всех других ранее рассмотренных этапов фанерозоя. Это время сокращения карбонатной седиментации, локализованной преимущественно в Средиземноморском поясе (Альпы, Карпаты, Гималаи, Памир). Кремненакопление в значительных масштабах известно лишь в Тихоокеанском поясе (Сихотэ-Алинь, Кордильеры). Существенно возрастает накопление морских терригенных отложений (Крымско-Кавказский регион, Северо-Восток, Индокитай) и континентальных красноцветов и сероцветов, локализованных в Годване, Сибири, Юго-Восточной Азии и др. регионах. Резко сокращаются масштабы угленакопления, в значительных количествах проявленного лишь в средней юре. Незначительными были и масштабы соленакпления.

Раннемезозойский магматизм также резко отличается от более древнего. Начало этапа знаменовалось грандиозным наземным трапповым вулканизмом на северо-западе Сибирской платформы (Тунгусская синеклиза, Южный Таймыр). Это был сравнительно кратковременный процесс активизации, развивавшийся в интервале времени 250–225 млн лет, который сопровождался накоплением мощных толщ, достигавших местами 3–5 км. Вторая крупная вспышка раннемезозойского платформенного вулканизма имела место в Африке (190–170 млн лет), в течение которой формировались базальты Стромберга в депрессии Карру; мощность накопившихся вулканитов достигает здесь 1400 м. Магматизм орогенного типа нетипичен для этапа и локализован главным образом в Забайкалье, Монголии, Индокитае. Преимущественно андезитовый состав юрских вулканитов в Крыму, на Кавказе, частично в Карпатах позволяет относить его к островодужному типу.

Своеобразием раннемезозойского тектогенеза является активный рифтогенез, проявленный как на платформенных площадях (Западная Сибирь, восточные окраины Африки), так и в Средиземноморском поясе

и в других регионах. Он положил начало разрушению Пангеи, появились глубокие расколы, часть которых развивалась и в последующие этапы. Для раннего мезозоя характерны преимущественно сводовые воздымания, которые не сопровождались сколько-нибудь значительным складкообразованием. Из достаточно выразительных тектонических фаз известно лишь складкообразование в середине триаса (лабинская фаза; в Японии она выделена под названием Акиёси). Раннемезозойский орогенез локализован преимущественно в Юго-Восточной Азии и получил наименование индосинийского. Он, по всей видимости, был основным в Донбассе, Юго-Восточном Памире, некоторых других районах Евразии.

Поздняя юра—ранний кайнозой

Этот интервал времени можно разделять на два самостоятельных этапа: позднеюрский—раннемеловой (165—90 млн лет) и поздемеловой—раннекайнозойский (90—13 млн лет), характер развития в течение которых достаточно близок. Это время раскрытия и формирования молодых океанов (Атлантического, Индийского, Северного Ледовитого), которое совпадает с орогеническими процессами в Тихоокеанском поясе, сопровождающимися активным сиалическим магматизмом. В Средиземноморском поясе имели место региональные геосинклинальные и орогенные процессы, сопровождавшиеся формированием зон мезозойской консолидации (кимериды, алиниды). Для рассматриваемых этапов характерны разрастание морских площадей, теплые климаты, важная роль карбонатной и флишевой седиментации. Границами этапов следует считать келловейскую и туронскую структурно-геологические перестройки, проявленные 165 и 90 млн лет назад.

Теплые климаты и обширные морские площади как особенность этого времени обусловили формирование своеобразного органического мира. Его особенностью был расцвет аммонитов и белемнитов, шестилучевых кораллов, рептилий, а затем и млекопитающих. В поздней юре появляются первые птицы. Для поздней юры—раннего мела характерен расцвет бенеттитовых и саговниковых, чекановских и гинкговых. Наиболее важным событием в развитии растительного мира было появление в конце раннего мела покрытосеменных, или цветковых. К середине позднего мела относится расцвет нанопланктона, так называемый планктонный взрыв, что было обусловлено благоприятными палеогеографическими условиями — наличием обширных мелководных бассейнов и теплым климатом.

Еще одним крупнейшим биотическим событием является великое вымирание в конце мела, в результате которого исчезло свыше 26 % семейств, около 44 % родов и около 90 % видов. Из наиболее значительных вымерших групп следует назвать аммоноидеи, белемниты, иноцерамы, строматопораты. Среди позвоночных вымерли наземные динозавры, летающие птерозавры, гигантские морские рептилии. Их место заняли быстро эволюционирующие млекопитающие, новые роды и семейства двустворок, гастропод и костистых рыб, новые простейшие (нуммулиты). Среди основных причин, обусловивших это вымирание, называется бомбарди-ровка Земли крупными метеоритами.

Структурно-геологический план во второй половине мезозоя и кайнозое не оставался единым. К поздней юре—раннему мелу относится раскрытие

Северной Атлантики и Северного Ледовитого океана. В позднем мелу образовалась южная часть Атлантического океана и продолжалось раскрытие Индийского. Это сопровождалось обширными трансгрессиями в Западной Сибири, западных районах Евразии, Северной Америке. Наиболее крупные горноскладчатые сооружения были приурочены к Тихоокеанскому поясу и юго-восточной части Средиземноморского. Тетис в эти этапы достиг, по всей видимости, своей максимальной ширины. В течение поздней юры—раннего мела имело место несколько кратковременных трансгрессий, а в позднем мелу — крупнейшее за всю фанерозойскую историю разрастание морских площадей. Климат всего этого времени был теплым, с постепенным возрастанием аридизации.

Осадконакопление в течение рассматриваемых этапов характеризуется возрастанием карбонатной седиментации, относящейся, главным образом, к Средиземноморскому поясу. К позднему мелу относится максимум флишенско-апеннинского накопления, также локализованного в тетических бассейнах. На прилежащих платформенных площадях происходило образование уникальной формации писчего мела, протягивающейся от северо-западных окраин Европы до Гималаев. К раннему мелу относится новая эпоха активности угленакпления, локализованного преимущественно на северо-востоке (Ленский бассейн, Приверхоянье, Приамурье, Зырянский бассейн и др.). Юго-Восточная Азия характеризуется преобладанием красноцветной терригенной седиментации.

Магматизм рассматриваемых этапов характеризуется резким преобладанием орогенных его типов, локализованных в Тихоокеанском поясе. В западном его секторе формируется Восточно-Азиатская система вулканических поясов (Охотско-Чукотский, Восточно-Сихотэалинский, Катазиатский). В первом из них резкая активизация вулканической деятельности пришлась на альбский век (статистический максимум около 100 млн лет). Такое явление могло стать причиной глобального изменения климата, обусловить резкое сокращение голосеменных и расцвет покрытосеменных. Вулканическая деятельность сопровождалась внедрением многочисленных гранитоидов, в том числе формированием знаменитого Колымского батолитового пояса. Подводные вулканические излияния были в осевых зонах Западного Тетиса (Динариды, Балканы, Кипр, Малый Кавказ). Платформенный вулканизм в раннем мелу был проявлен в Южной Америке (траппы Параны). В конце позднего мела аналогичные грандиозные излияния базальтовых лав имели место в Индостане (плато Декан). Последние исследования в этом регионе позволяют предположить, что это был кратковременный процесс, продолжавшийся лишь 1 млн лет.

Тектонические движения данного этапа характеризуются проявлением киммерийского орогенеза в течение поздней юры—раннего мела и сихотэалинского (ламарийского) орогенеза в позднем мелу — первой половине кайнозоя. Наиболее отчетливо эти процессы выражены в Тихоокеанском поясе (Верхояно-Чукотская, Кордильерская, Сихотэалинская и др. области), но известны и в Средиземноморском поясе, где к системам киммерийской консолидации относятся Горный Крым, Гималаи, отдельные зоны Памира. В пределах Восточной Азии широко проявлены процессы мезозойской тектоно-магматической активизации, которые проявлены внедрением внегеосинклинальных позднеюрских—раннемеловых гранитоидов и формированием своеобразных наложенных прогибов и впадин (Северо-Восточный

Китай, юго-восточная окраина Сибирской платформы и др.). В Китае этот возрастной аналог киммерийского орогенеза получил наименование яньшанского, а в Кордильерах Северной Америки – невадийского. Келловейская и туронская структурно-геологические перестройки, начинающие первый и второй этап позднего мезозоя, относятся к числу наиболее выразительных и хорошо изученных. Среди наиболее значительных тектонических фаз рассматриваемого времени можно назвать яйлинскую (агасийская и другие ее возрастные аналоги келловейского возраста), австрийскую, проявленную в конце раннего мела, средиземноморскую туронского возраста, пиренейскую (граница среднего и позднего эоцена).

Новейший этап

Историко-геологическое и тектоническое своеобразие позднего кайнозоя подчеркивали многие исследователи, говоря о неотектонике, новейшей или живой тектонике, неотектоническом развитии, новейшем этапе. Главной его чертой является формирование современного рельефа и важная роль геоморфологических и морфоструктурных методов в историко-геологическом анализе. Своеобразием этапа является орогенное развитие ряда областей Средиземноморского пояса и обширный эпиплатформенный орогенез на прилежащих площадях, активные тектонические процессы вдоль западных окраин Тихого океана и в других акваториях. Палеогеографические особенности рассматриваемого времени находят выражение в значительном похолодании и региональных оледенениях, аридизации климата, проявлении многочисленных кратковременных трансгрессий и регрессий. Началом этапа следует считать структурно-геологическую перестройку, имевшую место на рубеже среднего и позднего миоцена (13 ± 2 млн лет). Говоря о новейшем этапе развития земной коры, мы должны представлять, что имеем дело лишь с начальной его стадией.

Органический мир новейшего этапа постепенно приобрел черты современного. В течение рассматриваемого времени сформировались основные роды растительного мира, сложились их группировки и ассоциации, современная биогеографическая зональность. Не менялся существенно и животный мир. Главной его особенностью стало появление гуманоидов (15–10 млн лет назад), от которых впоследствии произошел человек. Это даже позволило именовать четвертичный период антропогеном.

Основными структурно-геологическими элементами земной коры в новейший этап стали существующие ныне материки и океаны, а также их составные элементы – платформы, складчатые сооружения, рифтовые системы. Начиная с позднего миоцена Северная Америка соединилась с Южной, а также периодически соединялась с Азией. В зоне схождения и сочленения Евразии с Африкой и другими элементами Гондваны начал формироваться Средиземноморский горно-складчатый пояс. Вдоль западных окраин Северной и Южной Америки оформились горно-складчатые сооружения Кордильер, а вдоль западной окраины Тихого океана – система островных дуг и глубоководных желобов.

Физико-географические обстановки в новейший этап существенно изменились по сравнению с более ранним. В различных областях Средиземноморского и Тихоокеанского поясов начали формироваться складчатые сооружения; в активные воздымания вовлекаются также платформы или

складчатые структуры более ранней консолидации (эпиplatformенный орогенез). Это существенно изменило физико-географические обстановки и климатическую зональность. В частности, поднятия в Антарктиде и ее перемещение в район Южного полюса обусловили образование здесь мощного ледникового покрова, максимум которого имел место примерно 5–4 млн лет назад. Формирование крупных ледяных шапок в полярных районах Земли привело к сокращению морских площадей, а в отдельных бассейнах – и к возрастанию солености их вод.

В четвертичном периоде развивается оледенение, наиболее четко проявленное в северном полушарии. Центрами оледенения здесь были Балтийский и Канадский щиты, Новая Земля, Таймыр, а мощность ледяного покрова превышала 2,5 км. Горно-долинные ледники были распространены во всех горных системах Евразии: в Альпах, Гималаях, на Кавказе, Тянь-Шане, Алтае. По долинам крупных рек ледниковые языки доходили в Европе и Северной Америке до 40–500 широты; в частности, их присутствие предполагается в Каневском районе Украины, где с ними связывается формирование Каневских дислокаций. Чередование морен с флювиогляциальными, болотными и озерными отложениями позволяет предполагать, что ледники периодически сокращались, и наступали межледниковые эпохи потепления. В Европе (Восточно-Европейская платформа, Альпы) устанавливается существование в четвертичном периоде 4–6 основных оледенений, разделенных потеплениями; последний ледник исчез 10–16 тыс. лет назад.

Физико-географические преобразования обусловили изменение условий осадконакопления. В новейший этап возрастает терригенная седиментация и сокращается карбонатная. Прекращается флишеобразование в альпидах; в связи с аридизацией климата уменьшилось угленакопление и увеличилась красноцветная седиментация. Сокращение морских площадей и изоляция отдельных бассейнов обусловили активизацию соленакопления; формирование эвапоритов имело место в Месопотамском бассейне, Предкарпатье, Закарпатье, на Малом Кавказе, в грабенах Красного моря, Аденского и Суэцкого заливов.

Начало этапа или миоценовая перестройка характеризовались резкой активизацией вулканической деятельности. Особенностью вулканизма новейшего этапа было возрастание островодужных его проявлений (накопление эффузивов и туфов андезитового состава в пределах островных дуг). На континентальных площадях активизировались излияния базальтовой лавы; в отличие от мезозоя они не давали таких грандиозных скоплений, а образовывали многочисленные мелкие зоны, отдельные разобоченные вулканы. Типичный орогенный вулканизм (наземные выбросы кислых лав и туфов) резко сократился, будучи локализованным преимущественно в Средиземноморском поясе. Своеобразный вулканизм имел место в пределах материковых и океанических рифтов.

Тектонические движения новейшего этапа стали предметом целенаправленного изучения неотектоники. Основной их особенностью стало проявление обширного эпиplatformенного орогенеза – сводовых воздыманий в областях более древней консолидации, которые по времени совпали с альпийскими горно-складчатыми движениями. Районами классического их проявления можно считать Тянь-Шань, Памир, Гималаи. Частые

трансгрессии и регрессии обусловили формирование многочисленных угловых несогласий, которые обычно трактуются как активизация тектогенеза. Вероятно, причина этого – в более детальной изученности новейшего этапа. В рассматриваемое время развивается активный рифтогенез. Подобные рифтовые структуры известны вдоль Восточной Африки (протяженность около 6500 км), в Европе, где они представлены грабенами Осло, Нижне- и Верхнерейнским, Ронским и др., а также на Байкале.

Приведенный материал показывает большую насыщенность истории развития земной коры самыми различными информационными данными. Принятая схема рассмотрения фанерозойской этапности позволяет четко и емко изложить все основные особенности и события этого времени. Она же пригодна и для регионального анализа, что будет показано на примере рассмотрения истории геологического развития Украины. Методы исторической геологии не только многочисленны, но в определенном отношении могут рассматриваться как общегеологические, что потребовало более полного их изложения. Естественно, что рассмотрение такой истории требует определенного синтеза развития, выявления общих закономерностей и тех проблем, которые должна решать данная наука.

9. РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ

В задачу региональной геологии входит изучение конкретных участков земной коры. Такими участками могут быть отдельные материки (тогда говорят о геологии Африки, Европы или Евразии), та или иная платформа или складчатая область, а также составной их элемент. Наконец, предметом регионально-геологического изучения может быть изучение геологического строения отдельных стран. До недавнего времени в наших вузах активно изучалась геология СССР, и этот предмет был хорошо обеспечен учебной литературой. Геология Украины пока не может похвастать этим, но первые современные учебники или сводки уже появились (ГНУ, 2007).

Важность регионально-геологических исследований заключается в том, что именно на примере изучения отдельных площадей мы можем получить информацию для разнообразных задач, решаемых геологией. Именно региональная геология дает исходный материал для получения сведений о веществе земной коры, ее осадочных и магматических комплексах. В результате площадного геологического изучения выявляются данные о разных тектонических структурах, составляются местные стратиграфические схемы и разрезы, которые затем увязываются с общей стратиграфической и геохронологической шкалой. Каждая из площадей характеризуется своими особенностями происходивших на ней историко-геологических событий, процессов, закономерностей развития. Наконец, именно регионально-геологические исследования лежат в основе прогнозирования и непосредственных поисков полезных ископаемых.

Главными структурными элементами земной коры следует считать материки и океаны. На материковых площадях по особенностям своего геологического строения и развития резко различаются платформы и складчатые сооружения. Отличия заключаются как в рельефе, так и в типе земной коры в их пределах. На примере очень краткого рассмотрения некоторых из них попробуем выяснить, как построены и сформированы эти структуры. Тем более что именно в зоне сочленения таких тектонических структур располагается Украина, ограниченная с юга Черным и Азовским морями. В пределах материков располагаются также другие тектонические структуры, которые развиваются на платформах и складчатых областях. Главными среди них являются молодые платформы, или эпипалеозойские плиты, вулканические пояса и материковые рифты.

Платформы

Платформы известны в пределах всех материков; их количество достигает почти десятка. Общей чертой их строения, как уже отмечалось ранее, является наличие сложно дислоцированного кристаллического фундамента и полого залегающего на нем осадочного чехла. Платформы оконтуриваются разновозрастными складчатыми сооружениями, формирование которых оказывает воздействие на прилежащую их часть: она испытывает периодические прогибания или воздымания, может подвергаться воздействию процессов тектоно-магматической активизации. Это обуславливает разнообразие строения и стратиграфического разреза платформенных площадей. Вместе с тем, не все платформы являются одинаковыми; по особенностям развития в платформенный этап геологической истории среди

них можно выделить своеобразную группу активизированных платформ, к которым относятся Сибирская, Китайская и Африканская.

Классическим примером типовых структур этой группы принято считать Восточно-Европейскую и Северо-Американскую платформы, которые должны быть отнесены к числу наиболее детально изученных. В их составе четко выделяются щиты и плиты – участки выходящего на поверхность кристаллического основания (фундамента), а также площади с осадочным чехлом различной мощности. В Европе соответственно выделяются Балтийский и Украинский щиты, а в Северной Америке – Канадский. Поскольку щиты являются областями длительного воздымания, здесь на поверхность выходят наиболее древние образования. На отдельных участках платформ (Прикаспийская, Примексиканская, Печоро-Тиманская впадины) мощность осадочного чехла превышает 20 км. В пределах этих двух платформ фиксируются периодически проявленные рифтовые расколы, на месте которых образуются различного рода прогибы и впадины.

Западная окраина Восточно-Европейской платформы, которая в течение раннего палеозоя примыкала к океану Япетус, испытывала в это время опускания, и здесь в составе ее осадочного чехла сформировались морские нижнепалеозойские отложения. В среднем и позднем палеозое интенсивные опускания испытывала восточная ее окраина, прилежащая к Уральскому древнему океану, а затем к одноименной складчатой области. Именно здесь в составе осадочного чехла наиболее широко распространены девонские, каменноугольные и пермские отложения. Наконец, южная окраина Восточно-Европейской платформы, примыкавшая к Средиземноморскому поясу, испытывала прогибания во второй половине мезозоя и первой половине кайнозоя, что обусловило накопление морских отложений юрской, меловой и палеогеновой систем.

Аналогичным образом построена и развивалась Северо-Американская платформа, которая в первой половине палеозоя испытывала воздействие Северной Атлантики (океан Япетус, а затем сформировавшиеся на его месте каледонские складчатые сооружения). В течение мезозоя и кайнозоя активные прогибания имели место вдоль тихоокеанской части материка, где впоследствии сформировались складчатые сооружения Кордильер. Вулканизм в сколько-нибудь значительных масштабах в течение платформенного этапа развития для этих двух структур не характерен.

Сибирская платформа также имеет щит (Алданский) и мощный осадочный чехол. В отличие от двух ранее рассмотренных, она характеризуется достаточно активными прогибаниями в позднем протерозое и раннем палеозое. На последующем платформенном этапе истории ее спокойное развитие сменяется неоднократными и разнородными процессами тектономагматической активизации: на границе палеозоя и мезозоя здесь происходит грандиозное излияние базальтовых лав (сибирские траппы), которые фиксировали расколы в ее пределах, а в конце мезозоя – внедрение на юго-восточной ее окраине многочисленных гранитоидов, что было обусловлено процессами формирования структур Тихоокеанского подвижного пояса. На северо-востоке Азии, прилежащей к Сибирской платформе, в течение позднего палеозоя, мезозоя и кайнозоя сформировалась Верхояно-Чукотская область и грандиозный Охотско-Чукотский вулcano-плутонический пояс.

В пределах Китайской платформы, располагающейся на границе Тихоокеанского, Средиземноморского и Урало-Монгольского поясов, процессы аналогичной активизации проявились не только в интенсивном гранитоидном магматизме на северо-восточной ее окраине, но и рифтовыми расколами, которые разбили ее на ряд самостоятельных платформ, получивших собственные названия: Южно-Китайская, Северо-Китайская, Амурская (Северо-Восточный ее выступ), Таримская и Тибетская. Особенности данной платформы следует считать достаточно мощным осадочным чехол, преимущественно континентальные условия развития в мезо-кайнозое и достаточно интенсивные процессы мезозойской тектоно-магматической активизации. В целом, данную структуру следует считать одной из наименее детально изученных.

Африканская платформа является одной из наиболее крупных и на отдельных участках очень детально изученной. Последнее обусловлено тем, что здесь располагаются крупнейшие в мире скопления золота, алмазов, меди, платины, хрома, никеля и др. Платформа эта интересна еще и тем, что процессы стабилизации или снижения тектонической подвижности начались здесь раньше других платформ – еще в архее. Вместе с тем, в позднем протерозое, а затем и фанерозое данная структура испытывала процессы неоднократной активизации, которые выразились во внедрении здесь гранитоидов, затем в излиянии базальтовых лав в мезозое, аналогичных Сибири и Индостану, а затем в формировании рифтов вдоль восточной окраины Африки в кайнозое. Африканская платформа долгое время была расположена в центре суперматерика Гондвана, что стало причиной сравнительно маломощного ее осадочного чехла, в составе которого преобладают континентальные отложения.

Южно-Американская платформа занимает значительную часть материка; на западе и юге она ограничена Андской складчатой областью. В ее составе выделяются два щита (Гвианский и Бразильский), разделенные впадиной р. Амазонка. В пределах впадины р. Парана размещаются покровы базальтов позднемезозойского возраста. Структура эта также входила в состав материка Гондвана, являясь ее западной окраиной. Соответственно, Австралийская платформа, занимающая западные две трети материка, была восточной окраиной Гондваны. Во второй половине мезозоя и в кайнозое она больше других переместилась к востоку. В верхнем протерозое этой платформы известны следы многочисленных оледенений в интервале времени 850–630 млн лет назад, а также находки знаменитой эдиакарской фауны. Антарктическая платформа занимает восточную часть материка и ограничена Западно-Антарктической позднепалеозойско-раннемезозойской складчатой областью, входящей в состав Тихоокеанского пояса. В пределах Восточноантарктического кратона известно одно из древнейших изотопных определений возраста пород (около 4 млрд лет). В целом, эта структура, 98 % площади которой покрыта льдами, изучена слабее всех других.

Аналогичным образом построена Индийская платформа, также входившая в состав Гондваны. Она расположена на п-ове Индостан и о. Шри-Ланка; с севера ограничена Белуджистанской, Гималайской и Бирманской складчатыми областями Средиземноморского пояса. Среди осадочных отложений ее чехла особый интерес представляют континентальные отложения гондванской серии ледникового происхождения, которые впервые были

выделены и детально изучены именно на этой платформе. Еще одной ее особенностью следует считать грандиозные излияния базальтоидных лав в пределах плоскогорья Декан (деканские траппы). Площадь покровов составляет 500 тыс. кв. км, а максимальная мощность формации — 2130 м. В ее разрезе фиксируется 48 излияний, подавляющая часть которых приурочена к границе мела и палеогена (около 66 млн лет назад). Данный вулканизм платформенного типа принято считать одним из наиболее грандиозных.

Все рассмотренные платформы сформировались в архее — раннем протерозое. Кроме этих классических, так называемых древних платформ принято выделять и молодые — эпибайкальские, эпипалеозойские и др. Частично они будут рассматриваться позднее, когда речь будет идти об эпипалеозойских плитах. К числу характерных особенностей почти всех платформ необходимо отнести их вполне определенный набор полезных ископаемых. Для кристаллического основания типичны рудные скопления (железо, медно-никелевые руды, платина, золото и др.), определенный набор нерудных полезных ископаемых, в том числе таких как алмазы, апатиты, каолины, графит, слюды, а для осадочного чехла — угли, соли, песчано-глинисто-карбонатный строительный материал.

Складчатые сооружения

Наиболее разнообразными структурами материков являются складчатые сооружения, которые в зависимости от времени проявления главных складкообразовательных процессов принято разделять на несколько возрастных групп. Пространственно все они могут быть сгруппированы в четыре основных складчатых пояса: Средиземноморский, Тихоокеанский, Урало-Монгольский и Атлантический. Составными элементами таких поясов являются складчатые области, системы и более мелкие структуры. В развитии почти всех складчатых сооружений можно выделять геосинклинальную стадию (время, когда эта площадь была морским или океаническим бассейном и в ее пределах накапливались отложения большой мощности) и орогенную стадию, в течение которой эти отложения сминаются в сложные складки, а соответствующие площади испытывают воздымания. Процесс этот обычно сопровождается горообразованием и проявлением своеобразного орогенного магматизма. Рассмотрим главные складчатые сооружения.

Средиземноморский складчатый пояс протягивается от южной части Европы и северо-западной окраины Африки до юго-восточного окончания Азии, включая такие детально изученные области, как Альпы, Карпаты, Кавказ и др. В пределах данного пояса располагаются области и системы герцинской консолидации, или герциниды (Центральная Европа, Атлас, частично Большой Кавказ), мезозойды (Горный Крым, частично Памир и Гималаи) и области альпийской складчатости, испытывающие современное горообразование. Этот пояс является внутриматериковой тектонической структурой с относительно слабым проявлением магматизма. В течение второй половины палеозоя, всего мезозоя и первой половины кайнозоя здесь располагался океанический бассейн Тетис. Активные современные воздымания в зонах спрединга обусловили отнесение к этим площадям максимальных абсолютных отметок.

Альпийская и Карпатская области Средиземноморского пояса образуют выпуклую к северу дугу, которая окаймляет более жесткую древнюю струк-

туру (сейчас здесь располагается Венгерская низменность). От прилежащей с севера платформы Альпы и Карпаты отделяет система краевых прогибов. Активные геосинклинальные прогибания в разных частях областей начали развиваться с начала мезозоя или даже с конца перми. Особенностью этих областей является широкое распространение во внешней их зоне меловых—кайнозойских обломочных отложений со своеобразным чередованием, получивших название флиша. В течение орогенного этапа развития на этих площадях сформировались многочисленные надвиговые структуры с большой амплитудой перемещения — шарьяжи, взбросы и надвиги, которые обусловили складчато-чешуйный характер этих сооружений. Они получили название «альпийская складчатость». Во внутренних зонах областей, где могут предполагаться эвгеосинклинальные структуры и осевая часть бывшего океана, фиксируются системы герцинской и мезозойской консолидации.

Кавказская складчатая область относится к числу наиболее детально изученных и может рассматриваться как типовой структурный элемент Средиземноморского пояса. Это область классического проявления альпийского геотектонического цикла, включающего также зоны герцинской (Северокавказский массив) и киммерийской консолидации. Основные структурные элементы области — системы Большого и Малого Кавказа — разделены Дзиркульским срединным массивом, перекрытым межгорными Рионской и Куринской впадинами. От Восточно-Европейской платформы Кавказ отделяет система краевых прогибов (Индоло-Кубанский и Кума-Маньчский). В пределах области известен полный и детально изученный разрез фанерозоя, включающий континентальный верхний палеозой орогенного типа, мощную морскую терригенную юру, фациально изменчивые отложения девона и мела, разнообразные кайнозойские отложения.

На примере ее строения и развития можно наблюдать, что морские и океанические бассейны здесь то появлялись и разрастались, то исчезали, что обусловило проявление здесь неоднократного складкообразования, формирование зон разновозрастной консолидации: герцинской, мезозойской и альпийской. Кавказ располагается на том участке, где жесткие платформенные структуры Евразии и Гондваны сошлись достаточно близко, что позволяет представить, как формируется геосинклинальное складчатое сооружение вообще. Первоначально здесь происходило расхождение расколовшихся жестких структур, накопление в зонах прогибания морских отложений (на Кавказе это имело место в середине палеозоя, первой половине мезозоя и позднем мелу—кайнозое), а затем схождение плит и деформирование накопившихся отложений. Кавказ является областью с очень полным стратиграфическим разрезом, большим разнообразием природных процессов, что долгое время делало его местом проведения учебных геологических практик.

Памирская область представляет собой небольшое складчатое сооружение, расположенное в зоне сочленения Памира с горно-складчатыми системами Гиндукуша (на западе), Каракорума и Соляного Кряжа. Это изогнутая к северу дугообразная структура, в пределах которой максимально сближены участки бывших материков Гондваны и Лавразии. Для Памира характерна широтная зональность, пестрая фациальная изменчивость палеозоя—мезозоя, крупные сдвиго-надвиговые нарушения. Северо-Памирская складчатая система тесно связана с Тянь-Шанем, а Южно-Памирская протягивается

в Каракорум. Геосинклинальный комплекс последней включает терригенный и карбонатно-терригенный верхний палеозой и нижний мезозой. С позднего мезозоя начинается орогенное развитие Южного Памира. Это позволяет рассматривать Северо-Памирскую систему как индосиниды, а Южно-Памирскую – как киммериды, активизированные альпийским орогенезом.

Гималайская складчатая область располагается в пределах высочайшей горной системы. Это зона сочленения Гондваны (Индостан) и Китайской платформы, входившей в состав Лавразии. С юга она окаймляется Предгималайским краевым прогибом; с запада к ней примыкает Соляной Кряж и Каракорум, а восточным продолжением является Бирманская складчатая область. В пределах области выделяется несколько составных элементов: Высокие и Низкие Гималаи, Субгималаи (Пенджабские, Кумаонские, Непальские Гималаи и др.). Это сравнительно слабо изученная площадь, что вызвано трудными для исследований условиями работы в ее пределах (высокогорье, расположенность в разных слабо изученных в геологическом отношении странах). Стратиграфические разрезы включают фрагменты нижнего и среднего палеозоя, гондванскую серию верхнего палеозоя, карбонатный нижний мезозой и терригенный верхний. По характеру своего развития область можно относить к киммеридам, однако наиболее активные воздымания она начала испытывать с позднего миоцена, одновременно с альпийским орогенезом на северо-западе пояса.

Среди других наиболее известных складчатых сооружений пояса можно назвать Копетдаг, Пиренеи, Апеннины, Горный Крым, герциниды Центральной Европы, многочисленные структуры Центральной Азии. Характерной особенностью пояса можно считать разное строение и развитие западных и восточных его частей. Для первых характерно наличие краевых прогибов (Предальпийский, Предкарпатский, Предкопетдагский, система прогибов Предкавказья), формирование складчатых сооружений преимущественно в период герцинского и альпийского орогенезов. Для восточной части характерны индосиниды и киммериды, являющиеся типичными складчатыми сооружениями Тихоокеанского пояса. В последнее время здесь выявляется важная роль раннемезозойского рифтогенеза, начинающего активное мезо-кайнозойское развитие структур пояса.

Урало-Монгольский пояс является внутриматериковым складчатым сооружением, консолидированным в палеозое; здесь выделяются области и зоны герцинской, каледонской, салаирской, байкальской и более древних складчатостей. Среди наиболее известных и в разной степени изученных его областей следует назвать Уральскую, Тянь-Шаньскую, Центрально-Казахстанскую, Алтае-Саянскую, Монголо-Охотскую и др. Для Урало-Монгольского пояса в целом характерен активный магматизм разного возраста, обычно сложное мозаичное (блоковое) строение его областей, отсутствие вдоль их границ краевых прогибов за исключением Предуральского.

Уральская складчатая область может считаться наиболее детально изученной частью пояса, которая сформировалась на месте существовавшего в середине палеозоя океана. Она вытянута в субмеридиальном направлении почти на 3000 км; характеризуется этим же направлением основных своих складчатых и разрывных нарушений. На западе область отделена Предуральским краевым прогибом от Восточно-Европейской платформы, а на востоке граничит с Западно-Сибирской плитой. Северное структурно-

геологическое продолжение области прослеживается на о-вах Новая Земля, а юго-восточное — в Тянь-Шане. В пределах области четко выделяется восточная эвгеосинклинальная зона с активным проявлением магматизма и накоплением вулканогенно-кремнистых образований и западная миогеосинклинальная зона, которая трактуется как переработанная окраина соседней платформы.

В Предуралье располагается стратотип рифея (верхний протерозой), а в пределах краевого прогиба — стратотип пермской системы. Типичное геосинклинальное развитие области начинается со второй половины ордовика, а в позднем палеозое она испытывает орогенез, что позволяет относить ее к герцинидам. На материалах расшифровки истории развития складчатой области сформировались представления о существовании Уральского палеоокеана, ширина которого по разным подсчетам достигала 1500—2500 км. Интересной особенностью области можно считать наличие основных и ультраосновных изверженных пород вдоль ее осевой части, которые понимаются как выжатые на поверхность участки древней океанической земной коры или даже мантии. Значительная часть Урала к настоящему времени интенсивно денудирована.

Алтае-Саянская складчатая область занимает центральную часть пояса, разделяя складчатые сооружения Центральной Казахстана, Западно-Сибирскую плиту, Сибирскую и Китайскую платформы. Она характеризуется разнородным мозаичным строением своих составных частей, различной ориентировкой складчатых и разрывных нарушений, активным разновозрастным магматизмом. В ее составе выделяются складчатые сооружения Алтая, Восточного и Западного Саяна, Кузнецкого Алатау, Горной Шории, Салаирского кряжа, относимые к байкалидам, салаиридам, каледонидам и герцинидам. Сложена область преимущественно морским нижним и средним палеозоем и континентальным верхним палеозоем—нижним мезозоем, которые образуют здесь систему наложенных депрессий (Минусинских котловин), в том числе угленосных.

Монголо-Охотская область представляет собой восточную окраину пояса, расположенная в пределах Северо-Восточной Монголии, Забайкалья и Приамурья. Разграничивает Сибирскую и Китайскую платформы и характеризуется незначительной шириной (до 150 км, а местами даже выклинивается) и большой протяженностью, достигающей 2000 км. Сложена докембрийскими и, главным образом, среднепалеозойскими осадочными, вулканогенно-осадочными и метаморфическими комплексами, смятыми в складки и ограниченными крупными разрывными нарушениями типа глубинных разломов. В последнее время ее обычно рассматривают не как типичную палеозойскую геосинклиналь, а как структуру рифтового типа, которая не претерпела типичного для всего пояса герцинского орогенеза. В мезозое эта площадь испытала тектоно-магматическую активизацию, что проявилось во внедрении позднеюрских-раннемеловых гранитоидов, формировании наложенных мезозойских прогибов и впадин. Все это отличает данную область от других структур и систем пояса.

Среди других структур Урало-Монгольского пояса принято выделять каледониды и герциниды Казахского нагорья, каледониды Северного Тянь-Шаня и герциниды Южного Тянь-Шаня, Байкальскую горную область. Как самостоятельная структура здесь обособлен Казахстанский вулканический

пояс, сложенный девонскими, частично позднепалеозойскими вулканитами. Наряду с интенсивно денудированными площадями, примером которых может быть мелкосопочник Центрального Казахстана, здесь имеется область высокогорного Тянь-Шаня. Последний трактуется как область палеозоид, претерпевшая в позднем кайнозое активные воздымания. Это классический пример эпиплатформенного орогенеза.

Тихоокеанский пояс почти сплошным кольцом окаймляет Тихий океан, и его складчатые сооружения располагаются в пределах Азии, Северной и Южной Америки, Австралии, Антарктиды. В пределах этого пояса преобладают складчатые сооружения, сформировавшиеся главным образом в мезозое (мезозоиды). Среди наиболее известных областей пояса можно назвать Верхояно-Чукотскую, Сихотэ-Алинскую, Японскую, Кордильерскую и др. Характерной его особенностью следует считать активный мезозойский магматизм, в результате чего здесь сформировалась система вулканических поясов. Следует подчеркнуть, что активное тектоническое развитие данного пояса не завершилось: обрамляющие его моря и глубоководные океанические желоба рассматриваются иногда как современные геосинклинали, превращение которых в складчатые сооружения – дело недалекого геологического будущего. Сейчас это области повышенной сейсмичности и интенсивного вулканизма; ранее уже упоминалось ее образное название «Огненное кольцо».

Верхояно-Чукотская область Тихоокеанского пояса, занимающая северо-восточную окраину Азии, интересна тем, что от Сибирской платформы отделена краевым прогибом (Предверхоянским), а в центральной своей части включает многочисленные срединные массивы – Колымский, Омо-лонский, Чукотский и др. Под названием срединного массива понимаем тектонические структуры платформенного типа, точнее даже, их обломки, крупные осколки. Это позволяет предполагать, что морские бассейны области заложены на раздробленном платформенном основании. В составе области можно выделять две разновозрастные складчатые системы – Верхоянскую и Чукотскую, которые сформировались в индосинийский и киммерийский геотектонические циклы.

В течение позднего палеозоя и раннего мезозоя в пределах области накапливались мощные морские обломочные отложения (песчаники, алевролиты), которые получили наименование верхоянского терригенного комплекса. Во второй половине мезозоя эти отложения были собраны в складки; данный процесс сопровождался активным орогенным вулканизмом (внедрение многочисленных гранитов и наземные вулканические извержения), результатом чего стало формирование Охотско-Чукотского вулканического (вулcano-плутонического) пояса, являющегося одним из крупнейших. Интересно, что возраст данного складкообразования соответствует возрасту Горного Крыма и Кордильер Северной Америки, а также совпадает с началом заложения или раскрытия Северной Атлантики. Следовательно, формирование складчатых сооружений и образование молодых океанов представляет собой взаимосвязанный в планетарном масштабе процесс.

Сихотэ-Алинская складчатая область также относится к мезозоидам, но является более молодой, чем Верхояно-Чукотская. Это типичный составной элемент Тихоокеанского пояса, который граничит здесь с северо-восточным выступом Китайской платформы и Монголо-Охотской областью.

С запада окаймляется системой пермско-раннемезозойских прогибов (Дабихинский, Куканский, Алчанский), которые трактуются как аналоги краевых. В позднем палеозое и мезозое она была областью активного прогибания и накопления мощных обломочных и вулканогенно-кремнистых отложений, прорванных многочисленными позднемеловыми гранитоидами, кайнозойскими базальтоидами, осложненными интенсивными складчатыми и разрывными нарушениями (глубинные разломы, региональные сдвиги).

Превращение Сихотэ-Алиня в складчатое сооружение происходило в позднем мелу — раннем кайнозое, что требует отнесения его к поздним мезозоидам; для них было предложено название алинид, которые отличаются от более ранних киммерид. На геосинклинальном и орогенном этапах ее развития здесь широко проявлялся магматизм, а горообразование, начавшееся с позднего мела, сопровождалось весьма крупными горизонтальными перемещениями и сдвигами. Консолидация Сихотэ-Алиня или проявление в его пределах горообразования сопровождается формированием Восточно-сихотэалинского вулканического пояса, который по возрасту совпадает с активными прогибаниями геосинклинального типа в соседних зонах Камчатки и Сахалина, а также в Альпийско-Карпатской области. Вместе с Охотско-Чукотским и Катазиатским этот пояс составляет самую протяженную систему вулканоплутонических сооружений орогенного типа.

Японская (Ниппонская) складчатая область расположена в зоне сочленения материка и океана, образуя островную дугу. В регионе принято выделять краевое море, внешнюю, прилежащую к матерiku, невулканическую и внутреннюю вулканическую дугу, континентальный склон (передовой к дуге бассейн и склон желоба), глубоководный океанический желоб и океанический бассейн. Непосредственно Японские острова представляют собой разновозрастное складчатое сооружение, область разнородного вулканизма (рифтового, геосинклинального, островодужного, орогенного, субплатформенного), фиксирующего сложные процессы наращивания континентального массива. В их пределах выделяются резко отличающиеся по геологическому строению Юго-Западная и Северо-Восточная Япония, разделенные крупной разрывной системой Фосса-Магна. Первая из них обнаруживает сходство с Сихотэ-Алинем; на Северо-Востоке выделяется зона зеленых туфов и ряд других зон со своеобразными палеозойскими разрезами и меловыми гранитоидами.

Среди наиболее интересных геологических особенностей Японии нужно назвать продольную зональность, среднепалеозойский рифтогенез (рифт Мотай), зональность геосинклинального верхнего палеозоя, представленного на востоке вулканогенно-кремнистыми образованиями (группа Титибу визейско-пермского возраста), а на западе карбонатными. Мезозой представлен преимущественно морскими терригенными отложениями, а верхний мел — кайнозой характеризуется большой фациальной пестротой разрезов. Историко-геологический анализ позволяет устанавливать индосинийский тектонический цикл, завершившийся орогенезом Акиёси, и позднемезозойский, проявленный орогенезом Сакава, одновозрастным таковому Сихотэ-Алиня. Приокеаническая часть Юго-Западной Японии испытывает в новейшем этапе активные прогибания и вместе с глубоководным желобом может рассматриваться как современная геосинклиналь.

Кордильерская складчатая область представляет собой складчатоглыбные сооружения западной окраины Северной Америки, которые протягиваются более чем на 9000 км при ширине до 900–1600 км. Главным в ее формировании был мезозойский орогенез, получивший название невадийского (поздняя юра–ранний мел), что позволяет считать его возрастным аналогом киммерийского. Однако в полосе Тихоокеанского побережья интенсивный тектогенез продолжался в течение почти всего кайнозоя. В поперечном сечении с востока на запад в составе области могут быть выделены: 1) прерывистая полоса передовых прогибов; 2) восточная окраинная зона структур эпиплатформенного орогенеза (хребет Брукс на Аляске, восточная часть Скалистых гор США, Северные Сьерра Центральной Америки); 3) срединные массивы – Юконский на Аляске, плато Колорадо в США; 4) внешняя миогеосинклинальная зона Кордильер, или западная часть Скалистых гор с преимущественно ларамийским орогенезом; 5) западная эвгеосинклинальная зона Кордильер с невадийским орогенезом; 6) Притихоокеанская зона кайнозойского тектогенеза; 7) система наложенных кайнозойских вулканоплутонических зон. Такая структура этой области позволяет говорить о сходстве строения и развития с ранее рассмотренными областями Тихоокеанского пояса Евразии.

Среди других складчатых сооружений пояса можно упомянуть Анадыро-Корякскую, Олюторско-Камчатско-Курильскую и Сахалинскую системы, которые обычно принято рассматривать как области кайнозойской складчатости. Они достаточно полно описаны в наших учебниках по геологии СССР. В целом, в пределах Тихоокеанского пояса наблюдается отчетливое наращивание складчатых сооружений в сторону океана. Характерной их особенностью следует считать активный магматизм, широкое развитие нарушений сдвигового типа, высокую современную сейсмичность, которая демонстрирует продолжающееся развитие.

Складчатые сооружения Атлантического пояса представлены как в Аппалачах Северной Америки, так в северо-западной части Европы и на прилежащих островах Англии, Шпицбергена, Гренландии. Существовавшая здесь в позднем докембрии и раннем палеозое геосинклиналь (океанический бассейн Япетус) была превращена в среднем палеозое в горно-складчатые сооружения, получившие наименование каледонид. Этот процесс схождения древних материковых площадей, как уже упоминалось ранее, обусловил формирование материка Лавразия, включавшего Северную Америку и Евразию. После достаточно длительной денудации, происходившей в течение второй половины палеозоя и раннего мезозоя, или в интервале времени 400–165 млн лет, на месте этих складчатых сооружений вновь начал формироваться молодой океанический бассейн Северной Атлантики. Следовательно, история формирования Атлантического пояса показывает повторяемость сходных тектонических и палеогеографических обстановок на одной и той же площади, своеобразную цикличность развития.

Аппалачская складчатая область занимает юго-восточную часть Северной Америки и протягивается почти на 3000 км, погружаясь под воды Атлантического океана. Находится на территории одноименного горного сооружения. На материалах изучения Аппалачей формировалась американская геология: возникли теория геосинклиналей, учение о циклах эрозии, представления об антиклинориях и синклинориях. В составе области выделяется Северо-Аппалачская и Южно-Аппалачская системы, различаю-

щиеся в геоморфологическом, структурном и историко-геологическом отношении. В пределах Южных Аппалачей выделяют Преаппалачский передовой прогиб, или провинцию Аппалачского плато, а также Внешнюю миогеосинклинальную зону (провинция Кряжей и Долин), Центральную зону, или провинцию Пидмонта.

В Северных Аппалачах передовой прогиб отсутствует, а Внешняя зона сильно сокращена. Наиболее широко в пределах области распространен морской нижний палеозой терригенного, карбонатного и вулканогенного состава, континентальный, частично угленосный верхний палеозой. Суммарная мощность кембрия и ордовика составляет здесь порядка 7 км. Северные Аппалачи рассматриваются иногда как система раннекаледонской (таконской) орогении, сильно переработанной девонским, или аккадским тектогенезом. Южные Аппалачи являются системой позднепалеозойского или собственно аппалачского диастрофизма, что позволяет считать их герцинидами.

Изучение общих закономерностей строения и формирования складчатых сооружений позволяет установить следующее. 1) Развитие большинства складчатых областей происходит в течение нескольких геотектонических циклов. Такое явление можно наблюдать в геологической истории Альп, Карпат, Кавказа, Сихотэ-Алиня, Японии, Алтае-Саянской области и др., что должно свидетельствовать о достаточно длительно существовавших условиях высокой тектонической подвижности. 2) В строении многих областей можно фиксировать существование эвгеосинклинальных зон и режимов, проявленных активным вулканизмом, что может свидетельствовать о приуроченности их к осевым зонам океанов, и миогеосинклинальных, развивающихся на окраинах прилегающей платформы. Конечная стадия развития складчатой области обычно завершается формированием краевого прогиба. 3) Складчатые области каждого из подвижных поясов имеют свою возрастную схему развития. Вместе с тем, существует и глобальная сопряженность такого процесса, связанная с формированием определенных океанов. Так, закрытие океанов Япетус, Уральского и Центрально-Азиатского активизировало развитие подвижных структур Средиземноморского пояса, соответственно раскрытие Атлантики сопровождается преимущественно позднемезозойским и кайнозойским складкообразованием в Тихоокеанском поясе. Подобную взаимосвязанность можно фиксировать и в развитии отдельных складчатых областей. Например, Донбасс и Горный Крым развиваются по той же возрастной схеме, что и Сихотэ-Алинь, Япония, Верхоянье, — в течение индосинийского и киммерийского циклов.

Другие тектонические структуры материков

К числу материковых тектонических структур, которые могут рассматриваться как составные элементы платформ или складчатых областей, следует относить эпипалеозойские плиты, системы трансматериковых рифтов и области тектоно-магматической активизации, в пределах которых формируются различного рода вулканические или вулканоплутонические пояса, а также базальтоидные (трапповые) плато. Такого рода структуры следует рассматривать как результат тектонической переработки платформенно-складчатых областей. Их изучение позволяет лучше понимать многообразие регионального строения и эволюционного развития материковой земной коры.

Западно-Сибирская плита может рассматриваться как молодая платформенная структура на территории одноименной низменности, которая ограничена складчатыми сооружениями Урало-Монгольского пояса и Сибирской платформой. Осадочный чехол ее, мощность которого достигает 8 км и более, начал формироваться в позднем мезозое–кайнозое. В его основании располагается система крупных пермско-триасовых рифтов, перекрытых верхнетриасовыми уленосными депрессиями. Данный рифтогенез, совпадающий по времени с началом раскола Пангеи, должен рассматриваться как «неудавшаяся» попытка сформировать новый океанический бассейн или геосинклиналь на границе древней платформы с потерявшей подвижность складчатой областью Урала. Угленосность в нижней части осадочного разреза плиты, битуминозность в средней (знаменитая баженовская свита), наличие верхнемеловой региональной покрывки (кузнецовская свита) и вечной мерзлоты, а также расколы в фундаменте делают впадину одной из крупнейших нефтегазоносных провинций мира.

Туранская плита представляет собой обширную молодую эпипалеозойскую платформу, располагающуюся на площади сближения складчатых структур Урало-Монгольского и Средиземноморского поясов. В составе ее разнородного фундамента размещаются байкалиды и герциниды, перекрытые мощным осадочным чехлом, который достигает 5–8 км. Нижняя часть чехла образована континентальным терригенным нижним мезозоем («переходный комплекс»), а верхняя – терригенным и карбонатным верхним мезозоем–кайнозоем. В последнее время эту плиту принято разделять на две самостоятельные: Южно-Туранскую (Туркмено-Бухарскую) и Северо-Туранскую, располагающуюся на площади Урало-Монгольского пояса. На севере данная плита переходит в Западно-Сибирскую, а на западе – в Скифскую, образуя в целом обширную Центрально-Евразийскую молодую платформу. Основной интерес для изучения данные площади представляют в связи с их нефтегазоносностью.

Если формирование молодых платформ может рассматриваться как затухание тектонической подвижности, то противоположным явлением нужно считать процессы тектоно-магматической активизации. Главными среди последних являются грандиозные магматические проявления, сопровождаемые образованием вулканических поясов, трапповых полей, внедрением многочисленных гранитоидов. Еще одним из таких процессов является образование крупных, иногда трансматериковых рифтовых систем, которые фиксируют расколы, разрушение материков. Наконец, достаточно распространенным явлением можно считать процессы эпиплатформенного орогенеза, формирование областей сводового воздымания.

Завершение геосинклинального процесса, орогенная стадия развития складчатой области зачастую сопровождается наземными вулканическими извержениями и внедрениями гранитоидов. Такой магматизм получил название субсеквентного или орогенного; обычно он содействует консолидации замыкающейся геосинклинали. Однако нередко подобные вулкано-плутонические процессы выходят за пределы области горообразования, сопровождаясь формированием соответствующих поясов.

Вероятно, одним из примеров подобного случая и процесса может быть формирование Охотско-Чукотского вулканического пояса, разделяющего области с материковым и переходным типом строения земной коры.

Протяженность его превышает 3200 км, ширина составляет 100–300 км. Он располагается на границе Верхояно-Чукотской складчатой области и подвижных сооружений Камчатки и Корякского нагорья. Сложен пояс меловыми вулканитами, главным образом альб-сеноманского возраста, мощность которых достигает 3–7 км. Среди вулканических пород андезитовые (37 %), базальтовые (32 %), кислые игнибритовые (26 %) и контрастные разности. До 20 % площади пояса занимают батолиты и штоки гранитоидов.

Аналогичным образом построен более молодой Восточносихотэалинский вулканический пояс, формирование которого фиксирует замыкание Сихотэ-Алиня. В отличие от этих двух, Катазиатский пояс преимущественно андезитовых вулканитов и гранитоидов размещается в пределах каледонид и байкалид Юго-Восточной Азии. Формирование его происходило в поздней юре–раннем мелу. Все три пояса образуют Восточноазиатскую систему областей тектоно-магматической активизации, которые по времени совпадают с раскрытием Атлантики. Подобной окраинно-материковой орогенной структурой Южной Америки является Арауканский вулканический пояс, располагающийся в Андах. Протяженность его 2500 км, ширина 100–150 км. Заложился он в конце юры и развивался до эоцена. На андезитовые породы в этом поясе приходится 85 %, на базальтовые, риолитовые и субщелочные – по 5 %. Мощность вулканитов нижнего мела достигает 8 км, верхнего мела – 4 км, палеогена – 2,5 км.

Подобные вулканические и вулcano-плутонические пояса известны и в пределах внутриматериковых частей Евразии. Здесь от Юго-Западного Приморья и Северной Кореи до герцинид Западной Европы и Северного Кавказа протягивается полоса преимущественно среднепермских вулканитов, образующих систему поясов протяженностью в первые сотни километров. Они известны также в Центральном Казахстане, Зайсане, Алтае, Тянь-Шане, Забайкалье и отвечают времени существования Пангеи, знаменуя одну из последних стадий ее консолидации и процессы преобладающих сжатий.

Качественно иной процесс тектоно-магматической активизации знаменует формирование трапповых полей, известных на разных материках. Их проявление известно на Сибирской платформе, где в пределах Тунгусской синеклизы, Пясинско-Хатангской впадины и юга Таймыра сформировался комплекс базальтоидов мощностью до 1000 м. Данный вулканизм относится к концу перми–раннему триасу (250–225 млн лет) и знаменует начало раскола Пангеи. Примерно такие же масштабы вулканизма известны на Индостанской платформе, где на рубеже мела и палеогена сформировались траппы Декана. Менее значительными, но сходными по характеру своего проявления были мезозойские излияния в Африке (базальты Стромберга) и Южной Америке. На новейшем этапе истории известны рассеянные проявления наземных излияний базальтов, фиксируемых в различных районах Восточной Азии и на востоке Африки.

Весьма распространенным явлением следует считать материковый рифтогенез, процесс формирования на жестких материковых структурах протяженных систем крупных рифтов. В фанерозойской истории можно зафиксировать три основные эпохи его проявления – новейшую или современную, раннемезозойскую и среднепалеозойскую.

Восточно-Африканская рифтовая система является одной из наиболее известных. Она расположена в восточной части Африканской платформы

в пределах эпиплатформенного орогенного пояса, протягиваясь почти на 5000 км. В ее составе выделяются две основные ветви: Эритрейская, где главным является грабен-рифт Красного моря; максимальная величина вертикального перемещения в этой зоне достигает 5 км. Вторая ветвь размещена в пределах Восточно-Африканского свода. Она также разделяется на несколько самостоятельных ветвей; величина опусканий достигает здесь 3 км. Среди наиболее крупных структур этой части системы – рифт Грегори, Западная ветвь; в их пределах – вытянутые озера Альберт, Эдуард, Киву, Танганьика, Ньяса. К продольным и поперечным разломам данной рифтовой системы приурочены действующие вулканы Кения, Килиманджаро и др. Время формирования рифтов – вторая половина кайнозоя.

Северным продолжением рассматриваемой системы рифтов могут быть аналогичные структуры Западной Европы, вытянутые в субмеридиональном направлении. Среди них – Рейнские рифты, Центральный и Вайкинг (Викинг), грабен Осло и др. Сходным и одновозрастным является рифт, в пределах которого находится озеро Байкал. Особый интерес среди новейших рифтов представляет Красноморская зона, являющаяся структурой, которая отражает смену континентального рифтообразования океаническим, начальную стадию раскрытия океана. Протяженность данного рифта составляет 1800 км, ширина от 150–200 км на севере до 350–400 км на юге. В осевой части рифтовой зоны фиксируется раздвиг с предположительным разрывом сплошности гранитно-метаморфического слоя. На дне Красного моря выявлены горячие металлоносные рассолы и осадки. Это позволяет некоторым исследователям делать предположения, что здесь происходит заложение нового океана, своеобразная стадия начавшейся формироваться геосинклинали.

Второй аналогичный трансматериковый пояс пермско-триасовых или раннемезозойских рифтов можно предполагать по линии «Чукотская система–Южный Таймыр–Западная Сибирь–Туранская плита–прилежащие зоны Средиземноморского пояса – восточная окраина Африки (Мозамбикский пролив)». Пояс этот изучен слабо, так как его основные составные элементы перекрыты мощным осадочным чехлом. По данным разных исследователей схема размещения рифтов в пределах Западной Сибири существенно различается. В пределах центральной части Евразии данная рифтовая система получила название Урало-Оманского линеймента. Начало его формирования по времени можно связывать с трапповыми излияниями Сибирской плат-формы, а наиболее выразительное развитие в позднем триасе–средней юре. Соответствующие рифты известны происходят в основании Западно-Сибирской плиты, отдельных зонах Средиземноморского пояса. По всей видимости, данный рифтогенез ознаменовал начало расколов и распада Пангеи.

В последнее время детально изучаются среднепалеозойские рифты Евразии. В их составе принято выделять два основных пояса: северо-западный и восточный. Первый из них протягивается от Англии и структур Среднеевропейской области (рифтовый бассейн Грейвен, Бристольский бассейн, «Намюрский синклинорий», Свентокшиская зона) через прогиб Большого Донбасса (Сарматский рифт), Туранский рифт, Куньлунь-Циньлинскую систему. Восточный пояс рифтов протягивается через грабены Китая и Японии, осевую часть Японии (рифт Мотай) и Сихотэ-Алиня; на Северо-Востоке Азии его продолжением являются Арга-Тасская рифтовая

система и рифт Сетте-Дабан. Для всех этих структур точно установлено время рифтогенеза (обычно вторая половина девона и первая половина раннего карбона). Развитие ряда таких рифтов могло перерасти в позднепалеозойский геосинклинальный процесс (Донбасс, Сихотэ-Алинь, Япония и др.).

Подобный материковый рифтогенез известен и в более древней истории. Он проявлен в раннем венде, позднем протерозое. Интересной особенностью фанерозойских рифтов следует считать то, что главные их пояса и системы обычно располагаются почти под прямым углом к областям одновозрастного орогенеза. Это явление характерно для северо-западного пояса среднепалеозойских рифтов, протягивающихся от каледонид Северной Атлантики и Юго-Востока Азии, раннемезозойских и позднекайнозойских рифтов субмеридиональной ориентировки, отходящих от складчатых структур Средиземноморского пояса и позволяет восстанавливать механизм и причину формирования рифтов. Сжатия в областях закрытия океанов могут вызывать воздымания разграниченных ими платформенных площадей, которые разрушаются уже под воздействием гравитационных расколов и растяжений. Достаточно выразительным примером такого случая может быть формирование рифтов Восточной Африки.

Еще одним проявлением тектонической активизации является процесс, названный эпи платформенным орогенезом. Классическим примером такого орогенеза может быть развитие палеозойд Тянь-Шаня и других структур, в пределах которых после длительного мезозойского и раннекайнозойского спокойного платформенного развития и денудации проявились новейшие активные воздымания. Это достаточно распространенное явление, которое мы можем наблюдать в различных районах Средиземноморского подвижного пояса, где мезозойды и более древние складчатые сооружения испытывают воздымания, совпадающие по времени с альпийским орогенезом. Ранее это уже отмечалось для Памира, Гималаев; оно же характерно для Горного Крыма, многих областей Центральной Азии, а также Восточной Африки.

Геологическое строение морей и океанов

Земная кора в пределах океанов резко отличается от материковой: мощность ее намного меньше и в ней отсутствует гранитный слой. Многочисленные моря, в частности, те, что окаймляют восточную и северную окраины Азии, характеризуются переходным типом строения, промежуточным между материковым и океаническим: мощность осадочного и базальтового слоев здесь возрастает по сравнению с океанами. Если о структурах материковой земной коры судят в основном по данным геологического картирования, то разделение и группирование океанических площадей зачастую производится по результатам изучения их рельефа и геофизических исследований. На этом основании в пределах океанических площадей выделяют материковый склон, дно океана, срединно-океанические хребты, глубоководные желоба и островные дуги, которые разделяют или ограничивают ложе океана.

Наиболее интересной и в определенной степени загадочной частью океанов являются срединно-океанические хребты. Они образуют единую протяженную планетарную систему, равную почти 60000 км, которая располагается в осевой части Атлантического океана, а также на северо-западе Индийского и юго-востоке Тихого океанов. Эти подводные горы возвышаются над ложем океана на несколько километров, а местами даже

выходят на поверхность. Осевая часть хребта нарушена зонами проседания, своеобразными рифтами, а хребты в целом осложнены поперечными разломами, которые называются трансформными. Изучение дрейфа материков позволяет предполагать, что в зонах срединно-океанических хребтов происходит раздвижение литосферных плит (спрединг), расхождение их в разные стороны или процесс разрастания океанических площадей. В этих местах раскола и расхождения литосферных плит на поверхность выходит глубоководный материал земных недр; процесс этот сопровождается своеобразным вулканизмом, наиболее полно изучить который мы можем на примере Исландии. С этих позиций срединно-океанические хребты могут рассматриваться как зоны вновь нарождающейся океанической земной коры.

Столь же интересной является система глубоководных океанических желобов и впадин, которые наиболее полно представлены вдоль западной окраины Тихого океана. Именно здесь располагается Марианская впадина с максимальными отметками глубины (11022 м), Курильская и др. Предполагается, что в пределах таких впадин океаническая земная кора или Тихоокеаническая литосферная плита уходит под материковые площади Восточной Азии, фиксируя процессы субдукции. Поэтому прилегающие к таким впадинам островные дуги характеризуются наибольшей сейсмичностью и проявлением своеобразного островодужного вулканизма. Последний, представленный выбросами и излияниями преимущественно андезитового (среднего) состава, наиболее полно изучен в Японии, на Курильских островах, Камчатке.

Островные дуги или системы изогнутых островов получили свое наименование из-за формы: они обращены выпуклой стороной к центру океана. Наиболее известными являются Алеутская, Курильская, Японская, Филиппинская, Зондская островные дуги. Обычно это наиболее молодые океанические структуры, в формировании которых важную роль играет вулканизм; эти области характеризуются повышенным тепловым потоком. Условно их образование можно представить как процесс «сгребания» океанических осадков в зоне сочленения сближающихся океанических и материковых литосферных плит. От материков островные дуги отделяет система окраинных морей с земной корой переходного типа. Представление об одной из таких структур мы можем получить на примере Камчатско-Сахалинской области.

Наиболее обширная часть океана, расположенная между срединно-океаническими хребтами, глубоководными желобами и подводными окраинами континентов, занята дном океана. Отдельные его участки по аналогии с материковыми структурами называют иногда океаническими платформами. Это плоская или всхолмленная глубоководная равнина, находящаяся на глубине 4–5 км ниже уровня моря. Местами она осложнена подводными горами – гийотами (гайотами), которые представляют собой потухшие вулканы.

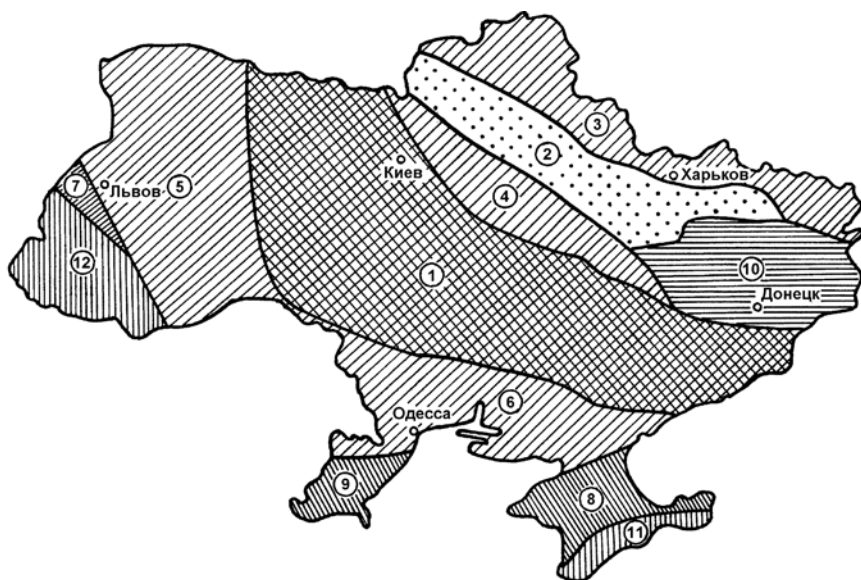
Представляет интерес рассмотрение Камчатско-Сахалинской области, являющейся пограничной структурой в системе «материк–океан». На ее примере можно понять, как происходит формирование складчатого сооружения, какой вид оно имеет в один из этапов, предшествующих горообразованию в пределах складчатого сооружения. Главными составными частями данной

области являются сравнительно хорошо изученные Камчатская и Сахалинская системы. Вдоль юго-восточной окраины этой области располагаются Курильские острова, а на северо-западе она граничит с Охотско-Чукотским вулканическим поясом. Центральная часть области, занятая Охотским морем, соответствует какой-то жесткой малоподвижной структуре, аналогичной срединному массиву; она получила название Охотоморской плиты. Вдоль северо-западной окраины области располагается более глубоководная часть Охотского моря, которую можно считать прообразом будущего краевого прогиба. Камчатская и Сахалинская части данной области представлены мощными отложениями мела и кайнозоя. Причем в составе Камчатских островов резко преобладают вулканические образования. Это типичное для складчатых областей явление, при котором на прилежащей к океану части более активно проявлены вулканические процессы. Они продолжаются и сейчас.

В целом Камчатско-Сахалинская область очень напоминает Альпийско-Карпатскую часть Средиземноморского пояса. В течение мела и первой половины кайнозоя там тоже происходили опускания и интенсивное накопление песчано-алевролитовых отложений. Участок Великой Венгерской низменности, который иногда называется Закарпатским срединным массивом, может сопоставляться с Охотоморской плитой, располагающейся сейчас ниже уровня моря (до недавнего времени ниже уровня моря была и Венгерская низменность, о чем свидетельствует обнаружение здесь морских отложений и солей). А в пределах юго-западной окраины Балканского полуострова (Элиниды—Динариды), еще недавно находившейся в осевой части океанического бассейна Тетис, меловые и кайнозойские разрезы содержат многочисленные вулканические образования основного состава (эвгеосинклинальный тип образований).

10. ГЕОЛОГИЯ УКРАИНЫ

Украина располагается в юго-западной части Восточно-Европейской платформы, в зоне сочленения ее Русской плиты с горно-складчатыми сооружениями Средиземноморского пояса. Эта часть платформы представляет собой относительно устойчивый участок земной коры с пологозалегающими, иногда весьма мощными осадочными отложениями, составляющими ее чехол; местами на поверхность выходит кристаллический фундамент, именуемый на юге платформы Украинским щитом. С северо-востока щит ограничен протяженным прогибом Большого Донбасса (Припятско-Днепровско-Донецким), отделяющим его от Воронежского массива. Юго-западная и южная окраины платформы представляют собой участки со сравнительно мощным осадочным чехлом, которые называются Вольно-Подольской и Скифской плитами, а также Причерноморской впадиной. В состав Средиземноморского подвижного пояса на территории Украины входят складчатые сооружения Горного Крыма и часть Восточных Карпат, называемых Украинскими. Основные структурно-геологические элементы нашей страны показаны на приведенном рисунке 3.



1–7 – Восточно-Европейская платформа; 8, 9 – молодые платформы; 10–12 – складчатые сооружения. Цифры в кружках: 1 – Украинский щит; 2 – осевая часть Днепровско-Донецкой впадины, ее Днепровский грабен; 3, 4 – склоны впадины, или Украинская синеклиза; 5 – Вольно-Подольская плита; 6 – Причерноморская впадина; 7 – фрагменты молодой Западно-Европейской платформы; 8 – Скифская плита; 9 – Добруджа и Преддобруджинский прогиб; 10 – Донецкое складчатое сооружение; 11 – складчатое сооружение Горного Крыма; 12 – Украинские Карпаты.

Рисунок 3. Схема тектонического районирования Украины

Геология Украины становится в последнее время самостоятельным предметом изучения в некоторых вузах. Сравнительно небольшая ее территория характеризуется разнообразием структур, полнотой стратиграфического разреза, сложной историей развития. Все это делает ее объектом многочисленных и интересных геологических экскурсий, а также площадью, пригодной для продуктивной практики студентов соответствующего профиля. Следует заметить, что относительная краткость изложения данных по геологии страны обусловлена тем, что недавно издана учебно-справочная работа на эту тему («Геология и нефтегазоносность Украины». — Х., 2007), где можно найти соответствующую информацию.

Такое размещение страны определяет большое разнообразие ее геологических условий. Здесь присутствуют практически все основные подразделения стратиграфической шкалы — начиная от докембрия (архей, протерозой, в том числе венд) и включая почти все системы фанерозоя. Стратиграфические разрезы карбона и силура в Украине являются в определенном отношении уникальными — наиболее полными и с богатыми палеонтологическими остатками, что позволяет иногда предлагать их как соответствующие эталоны. В разных регионах страны установлены фрагменты разновозрастных складчатых сооружений, получивших название салаирид, герцинид, индосинид, киммерид и альпид. Они формировались в позднем докембрии, позднем палеозое, мезозое и кайнозое, что позволяет считать интересной и насыщенной расшифровку геологической истории Украины. В пределах Украинского щита зафиксировано 7 импактных структур — следов падения древних крупных метеоритов. Наконец, для Украины характерна высокая степень геологической изученности, как для страны в целом, так и для отдельных ее частей.

Украинский щит протягивается почти на 1000 км, занимая наибольшую часть страны. Он сложен разнообразными метаморфическими образованиями, прорванными многочисленными разновозрастными гранитоидами и другими магматическими породами, среди которых обособляется до трех десятков комплексов. На значительной площади эти кристаллические образования перекрыты маломощным осадочным чехлом, но местами они выходят на поверхность и доступны непосредственному изучению. Все эти метаморфические и магматические комплексы сформировались в интервале времени 3,5–1,8 млрд лет назад. Украинский щит не является однородной структурой: его принято разделять на несколько самостоятельных частей, или крупных блоков, в числе которых Приазовский (Азовский) на юго-востоке, Приднепровский, включающий гигантские железорудные скопления Криворожья, Кировоградский, Одесско-Белоцерковский и Волыно-Подольский. В пределах щита размещается большое количество разнообразных полезных ископаемых, в том числе крупные скопления железных руд, титана, редких и рассеянных элементов, каолинов, цветного и поделочного камня. Здесь находится Днепровский буроугольный бассейн. Причем возможности обнаружения здесь новых рудных месторождений, строительного камня и новых видов сырья не исчерпаны, что делает данную структуру самой перспективной в этом отношении.

Прогиб Большого Донбасса, или Припятско-Днепровско-Донецкий представляет собой своеобразную тектоническую структуру, расположенную на юге Восточно-Европейской платформы, к изучению которой в течение

последнего века было приковано внимание многих исследователей. В его пределах выделяется три самостоятельных структурных элемента — Донбасс, или Донецкое складчатое сооружение (ДСС), Днепровско-Донецкая впадина (ДДВ) и Припятский грабен, расположенный в основном уже за пределами Украины. Восточным продолжением прогиба является погребенный кряж Карпинского.

Донбасс является не только крупнейшим в Европе угольным бассейном, но и площадью, где на поверхность выходит очень мощный угленосный карбон, наиболее полно представленная каменноугольная система. Эта территория испытывает огромную техногенную нагрузку. По современным представлениям прогиб Большого Донбасса является составным элементом крупной трансматериковой рифтовой системы Евразии, которая формировалась в интервале времени 375—325 млн лет назад. Донецкая часть рифта превратилась в позднем палеозое в кратковременно развивающуюся геосинклиналь, которая в раннем мезозое претерпела поднятия и складкообразование. Необходимо подчеркнуть, что ДСС нельзя относить к герцинидам; прогибания геосинклинального типа на этой площади начались в период герцинского орогенеза, а воздымания имеют раннемезозойский возраст. По такой возрастной схеме развиваются индосиниды, широко распространенные в юго-восточной части Средиземноморского пояса и вдоль азиатской части Тихого океана.

Днепровско-Донецкая впадина (ДДВ), лежащая на продолжении Донбасса, представляет собой платформенную структуру, развивавшуюся на среднепалеозойском рифте. Мощность осадочного чехла составляет здесь от 5—10 км на западе до 15—17 км на востоке. В нижней осевой части впадины располагается Днепровский, или Приднепровский грабен, ограниченный крупными разломами и выполненный средним палеозоем, который выше становится впадиной, а затем пологой Украинской синеклизой. В разрезе ДДВ известны соленосные девон и пермь, нефтегазоносные отложения верхнего палеозоя, в которых содержатся многочисленные залежи. Выше залегают преимущественно континентальный мезозой, морской верхний мел—нижний кайнозой. Девонская соль образует многочисленные диапирь, или соляные тела, протыкающие вышележащие отложения.

Волыно-Подольская плита является погруженным на глубину юго-западным склоном Украинского щита, который перекрыт сравнительно полным разрезом нижнего—среднего палеозоя. Общая мощность осадочного чехла достигает 9 км. Расположенный на севере этой плиты Львовский прогиб образует сравнительно небольшой по запасам угольный бассейн, называемый у нас Львовско-Волынским, который протягивается в Польшу. Угленосные отложения по возрасту здесь такие же, как и в Донбассе. Большой стратиграфический интерес представляет верхний докембрий (верхи рифея и венд) плиты. Для геологического изучения особо интересна граница силура и девона, очень выразительно фиксирующая ликвидацию раннепалеозойских морских условий бассейнов Северной Атлантики, а также работа рек, в частности — глубинная и боковая эрозия (Каменец-Подольский каньон в районе г. Залещики), палеонтологические сборы в силуре и девоне, многочисленные пещеры, сформировавшиеся в неогеновых гипсовых породах, своеобразные рифовые постройки сарматского моря (толтры), следы четвертичных оледенений. Все эти природные объекты взяты под охрану.

Причерноморская впадина и Скифская плита представляют собой пограничные структуры, разделяющие Восточно-Европейскую платформу и складчатые сооружения Горного Крыма и Кавказа. Северную ее часть занимает Причерноморская впадина, захватывающая кроме Причерноморья еще и равнинную часть Крымского п-ова. Она выполнена мощным мелом и кайнозойем; кристаллический фундамент погружается здесь на глубину до 8 км. В ее пределах выделяется Южно-Украинская моноклираль (на севере) и система Северо-Крымских прогибов. Интересными в геологическом отношении на этой плите являются один из наиболее полных разрезов неогена, процессы современного соленакопления в Сиваше, формирование оползней в прибрежных районах (Юрьевка, Ново-Дофиновка и др.), работа моря и, в частности, формирование Арабатской стрелки, многочисленных лиманов, кос, заливов на берегах Азовского и Черного морей. По своей геологической природе данную структуру можно рассматривать как аналог краевого прогиба, подобный Предкарпатскому и Предуральскому, о чем свидетельствует время ее заложения и асимметричное строение.

Соответственно, Скифская плита является молодой платформенной структурой, которая, в отличие от Восточно-Европейской платформы, начала формироваться лишь в палеозое—мезозое. Представления о ее геологическом строении получены главным образом по данным бурения и геофизических работ. В ее состав принято включать Равнинный Крым, Предкавказье, Добруджу и Преддобруджинский прогиб (часть этих площадей находится за пределами Украины). Плита эта является аналогом других подобных молодых платформ — Мезийской, Туранской и Западно-Сибирской.

Горный Крым считается одной из наиболее интересных структур Украины. Это киммерийское, или среднемеозойское горно-складчатое сооружение, претерпевшее активизацию и последующее новое поднятие во время альпийского орогенеза. Стратиграфический разрез его сравнительно простой, но характеризуется пестрой площадной изменчивостью. К тому же, его можно наблюдать непосредственно во многих местах. Верхний триас и нижняя юра представлены здесь терригенным флишем (таврическая серия), а средняя и верхняя юра — разнообразными по составу карбонатными, вулканогенными и грубообломочными терригенными образованиями. Верхняя юра, мел и кайнозой на прилежащих с севера площадях имеют небольшую мощность и залегают почти горизонтально.

Геологическая природа складчатого сооружения Горного Крыма не имеет однозначной трактовки. Киммериды нехарактерны для западной части Средиземноморского пояса. Полоса флишевых образований нижнего мезозоя протягивается на западе в Приднестровье, а на востоке — в Предкавказье (Ейско-Березанская зона), постепенно выклиниваясь. Иногда его рассматривают как своеобразную раннемезозойскую рифтовую структуру, преобразованную в кратковременно развивавшуюся мезозойскую геосинклиналь. В пользу этого говорит характер его строения и довольно интенсивный вулканизм по окраинам прогиба. О рифтогенной природе прогиба говорит также широкое развитие раннемезозойских рифтов в Евразии, расколывших Пангею и начавших формирование Тетиса. Интересно, что по времени геосинклинальный процесс на юге Крыма совпадает с орогенезом в Донбассе, что знаменует четко проявленную взаимосвязанность развития.

Южная окраина Крымского п-ова весьма богата геологическими памятниками природы. Здесь широко проявлены процессы карста, известны многочисленные органогенные и вулканические постройки, может наблюдаться активная работа моря и ветра, геологическая деятельность человека, преобразующая и предохраняющая прибрежную зону Крыма. Из геоморфологических сюжетов большой интерес представляют куэстовые ландшафты, столовые горы, многочисленные выразительные каньоны. Свообразие этому «музею под открытым небом» придают грязевые вулканы Керченского п-ова, многочисленные пещеры, кольцевые рифовые постройки Казантипа, вулканические сооружения Карадага.

В качестве самостоятельной и своеобразной структуры выделяется глубоководная впадина Черного моря. Здесь отсутствует гранитный слой земной коры, что сближает ее с океаническими структурами; базальтовый слой уменьшается до 4–8 км, а осадочный составляет 10–15 км. По вопросу ее геологической природы единого мнения нет. Ее рассматривают как остаток ранее существовавшего океанического бассейна Паратетиса, а также в качестве своеобразного рифта, расколовшего ранее существовавшую материковую земную кору, или как результат своеобразной физико-химической переработки (базификации, эклогитизации) материковой земной коры в новейший этап развития. На глубине более 200 м морской бассейн характеризуется застойным гидрологическим режимом и сероводородным заражением, что обязательно должно учитываться при планировании здесь различных строительных, геологоразведочных и геоэкологических мероприятий. Прибрежные акватории перспективны на нефть и газ.

Украинские Карпаты являются составным элементом Карпатской складчатой области, в пределах которого можно наблюдать все особенности ее строения. Здесь обособляется Предкарпатский краевой прогиб, отделяющий эти складчатые сооружения от Восточно-Европейской платформы. Внешняя, или приплатформенная зона Карпат сложена меловым–палеогеновым терригенным флишем, а Внутренняя зона образована маломощным, преимущественно карбонатным мезозоем. В Закарпатье может наблюдаться фрагмент срединного массива (Раховский выступ), частично перекрытый молодыми впадинами, и Выгорлат-Гутинская вулканическая гряда. Для Карпат, как и для Альп, характерна интенсивная тектоническая нарушенность и, в частности, многочисленные шарьяжи и надвиги – пологозалегавшие разрывные нарушения. Это область альпийского орогенеза, однако в ее пределах известны фрагменты более древних складчатых сооружений, в частности верхнепалеозойских.

Кроме многочисленных вулканических построек и весьма выразительных складчатых и разрывных нарушений в Закарпатье и Карпатах можно наблюдать соляной диапиризм (Солотвино), сложный метаморфический комплекс, выходы многочисленных минеральных источников. Это регион с разнообразными полезными ископаемыми – месторождениями нефти и газа, угля, руды, полиметаллов, золота, каменной и калийной соли, серы, строительного камня. Месторождения эти небольшие по запасам, поэтому, в отличие от сильно преобразованного геологической деятельностью Донбасса и Криворожья, для региона характерна сравнительно хорошо сохранившаяся природа, а также большое разнообразие геологических памятников, заповедных территорий, других тщательно оберегаемых природных и культурных объектов.

Расположенная на сочленении Восточно-Европейской платформы со складчатыми сооружениями Средиземноморского пояса территория Украины характеризуется сложной и насыщенной историей геологического развития. Формирование Украинского щита происходило в течение архея—раннего протерозоя. В интервале времени 3,5–1,6 млрд лет здесь имело место неоднократное заложение разных по размерам структур и бассейнов, развитие которых обычно завершалось поднятиями и внедрением гранитов. К числу наиболее известных относится Криворожский бассейн, развивавшийся в интервале времени 2,6–2,3 млрд лет. Поздний протерозой (1,6–0,7 млрд лет) был здесь временем преимущественных воздыманий на площади щита, что позволило выйти на поверхность древнейшим метаморфическим и магматическим образованиям.

В конце докембрия и раннем палеозое также преобладали условия преимущественных поднятий и денудации. Морские бассейны существовали лишь на западной окраине страны. Это были окраины и заливы океана Япетус, развивавшегося на месте современной Северной Атлантики. К числу наиболее интересных событий этого этапа истории следует отнести накопление известняков силурийской системы, которые сменились красноцветными отложениями в раннем девоне, что знаменовало сходные литосферных плит Северной Америки и Евразии, формирование на их месте каледонских складчатых сооружений и ликвидацию океанического бассейна в Атлантике.

Средний палеозой (400–325 млн лет назад) был переломным в фанерозойской истории Украины; именно тогда был заложен нынешний структурный план размещения ее подвижных систем. Схождение литосферных плит Северной Америки и Евразии и начало формирования каледонид совпало с расхождением плит Лавразии и Африки, на месте раскола которых сформировался океан Палеотетис. Сжатия в каледонидах Северной Атлантики и на Юго-Востоке Азии обусловили сводовые воздымания материковых площадей, где в результате последующих расколов заложилась система рифтов. Одним из них был прогиб Большого Донбасса, занятый заливом Палеотетиса. Данный рифт разделил ранее существовавший Сарматский кристаллический массив на нынешний Украинский щит и погруженную Воронежскую его часть (антеклизу).

Поздний палеозой (325–245 млн лет) известен как время активного горообразования, названного герцинским. Горноскладчатые сооружения этого возраста формировались в Центральной Европе, на Урале, в отдельных зонах Кавказа и Карпат. Вместе с тем, данный этап характеризуется активными прогибаниями в Донбассе, который можно рассматривать как кратковременно развивающуюся геосинклиналь. Устойчивые опускания существовали в это время и в соседней части ДДВ; в прогибания вовлекаются и прилежащие к Днепровскому грабену площади, что знаменует начало образования впадины. На западной окраине Украины в это время сформировался Львовско-Волинский угольный бассейн, одновозрастный с Донецким.

В целом седиментационно-палеогеографические условия позднего палеозоя, как это можно наблюдать в прогибе Большого Донбасса, не были однородными. В течение серпуховского века—среднего карбона происходило формирование мощных угленосных толщ Донбасса, в позднем

карбоне—начале перми имела место красноцветная терригенная седиментация, сменившаяся затем галогенезом, накоплением гипсово-соленосных толщ. Интересной особенностью данного этапа было формирование в ДДВ в середине пермского периода соленосных отложений, которые, по всей видимости, накопились в соленосном бассейне, протягивающемся от Приуралья до северо-западных окраин Европы.

В течение раннего мезозоя (245—165 млн лет) почти на всей территории страны преобладали преимущественные воздымания. Морские бассейны существовали лишь в пределах Горного Крыма, где формировались флишевые толщи (таврическая серия), и в Закарпатье (известняки). В ДДВ, где продолжались опускания, накапливались преимущественно континентальные отложения. В Донбассе, где морские условия прекратились еще с позднего карбона, была проявлена складчатость, сформировалось складчатое сооружение. В целом данный этап рассматривается как время начавшегося раскола Пангеи и обширного рифтогенеза; он знаменовался заложением геосинклинали на месте нынешнего Горного Крыма.

Поздняя юра—ранний мел (165—90 млн лет) представляет собой еще один самостоятельный этап геологического развития, на который приходится орогенное развитие Горного Крыма и формирование Причерноморской впадины, рассматриваемой нами как аналог краевого прогиба данного складчатого сооружения. В ДДВ это было временем проявления ряда кратковременных опусканий и накопления морских и континентальных отложений. Во Внутренних Карпатах имела место активизация прогибаний, но общий структурный план их развития оставался тем же. У этапа нет удобного и простого утвердившегося названия; его можно было бы именовать позднемезозойским, но лучше называть киммерийским, распространив это название и за пределы Украины.

Поздний мел—ранний кайнозой (90—15 млн лет назад) характеризуется разрастанием морских площадей. Среди наиболее интересных образований этого времени необходимо назвать накопление толщи писчего мела в ДДВ (интервал времени 90—65 млн лет) и флишевых образований Внешней зоны Украинских Карпат. Для последней, а также всей Альпийско-Карпатской области в целом данный этап может рассматриваться как время собственно геосинклинальной стадии альпийского геотектонического цикла. Морские условия в раннем кайнозое продолжали существовать и в Днепровско-Донецкой впадине, хотя характер седиментации здесь резко изменился (накопление терригенных, преимущественно глауконит-содержащих отложений). В пределах равнинного Крыма и Причерноморья формировались маломощные преимущественно карбонатные толщи.

Резкое изменение седиментационно-палеогеографической и тектонической обстановки начинается в новейший этап истории, начало которого обычно датируется значениями 15—10 млн лет назад. Это время начавшегося активного горообразования, названного альпийским и проявленного в Альпийской, Карпатской и Кавказской областях, с которым совпадает ликвидация морских бассейнов на обширной территории. Среди наиболее интересных событий этого времени нужно назвать соленакопление в Предкарпатье и Закарпатье (следствие ликвидации бассейна Паратетис), кратковременный вулканизм в Закарпатье, формирование рифовых построек в Крыму и Подолии. В Предкавказье это время формирования

системы краевых прогибов, западное продолжение одного из которых, названного Индоло-Кубанским, протягивается в пределы Керченского п-ова.

В новейший этап истории происходит формирование современного рельефа, в том числе образование гор в Карпатах и новые воздымания на юге Крыма. Преимущественно континентальные условия сопровождались накоплением бурых глин, образованием речных долин с многочисленными террасами. Похолодание четвертичного периода проявлено эпизодичным поступлением сюда ледников (один из крупнейших, названный Днепровским, перемещался по речным долинам наших крупных рек примерно 290–240 тыс. лет назад), а также накоплением лёссовых толщ.

Выполненный историко-геологический анализ фанерозойской истории развития Украины кроме изложения насыщенного информационного материала интересен тем, что позволяет использовать для ее характеристики этапы, разграниченные ранее рассмотренными в геотектонике структурно-геологическими перестройками. Соответственно, средний и поздний палеозой, ранний мезозой и другие этапы не только имеют равную продолжительность, четко разграниченные и обособленные условия развития, но и могут быть использованы для межрегиональной корреляции, в том числе для сильно удаленных площадей, а точнее даже – в глобальном масштабе.





Еще одной особенностью выполненного анализа может быть то, что формирование подвижных тектонических систем Украины фиксирует четко выраженную сопряженность их развития, проявленную как в пределах рассмотренной площади, так и за ее пределами. Она выражена тем, что прогибания в одних зонах совпадают по времени с воздыманиями других. Общие представления о такой взаимосвязанности дает таблица 4, где показано, как завершение развития одного из структурно-геологических элементов страны совпадает с заложением другого.

Ликвидация океана Япетус и начало каледонского орогенеза совпадает с образованием в Евразии системы среднепалеозойских рифтов, наиболее выразительным элементом которой является прогиб Большого Донбасса. Герцинский орогенез, четко проявленный и точно датированный на прилегающих площадях Урало-Монгольского и Средиземноморского поясов, совпадает с прогибаниями геосинклинального типа в Донбассе. Горообразование в ДСС отвечает времени геосинклинальных прогибаний в пределах Горного Крыма, а формирование киммерид – образованию Причерноморской впадины. После оформления последней начинаются прогибания геосинклинального типа и активное флишенаккумуляция во Внешней зоне Украинских Карпат. По всей видимости, это общая глобальная закономерность развития, своеобразным эталоном которой является схема истории человеческого развития Украины. А конкретная расшифровка геодинамических условий развития – задача дальнейших целенаправленных исследований.

Рассмотрение геологии Украины необходимо завершить краткой характеристикой ее полезных ископаемых. Они имеют особо важное значение для страны: занимая примерно полпроцента земной поверхности, она обеспечивает почти 5 % мировой добычи минерального сырья. На ее площади имеется более 7 тыс. разведанных месторождений. Близкое по площади размещение здесь железных руд, коксующихся углей, различных флюсовых и легирующих добавок способствовало созданию мощной металлургии.

Таблица 4. Схема историко-геологического развития структур Украины

Время	Структурные элементы							
	Вольно-Подольская плита	Закарпатье	Карпаты	Горный Крым	Причерноморская впадина	Впадина Черного моря	Донбасс	Днепроовско-Донецкая впадина
KZ ₂								
K ₂ -K ₁								
I ₃ -K ₁								
MZ ₁ (T-I ₁)								
PZ ₁ (C ₂ -P)								
PZ ₂ (D-C ₁)								
PZ ₁								

	Морские условия, активные прогибания		Горообразования
	Континентальные условия, поднятия		Морские или континентальные условия, опускания умеренной интенсивности

Скопление различных солей, глин, другого сырья положено в основу создания и работы химической, строительной, керамической и других видов промышленности.

Рудное сырье Украины включает такие важные полезные ископаемые, как железные и марганцевые руды, которые сконцентрированы в крупных бассейнах. Из других рудных полезных ископаемых следует назвать ртутные, урановые, титано-цирконовые руды. С недавнего времени большое внимание уделяется изучению золотоносных скоплений. Руды цветных металлов (свинца, цинка, меди, магния, алюминия) значительных скоплений не образуют.

По разведанным запасам железных руд Украина наряду с Россией и Австралией входит в тройку ведущих держав мира. Они сосредоточены в Криворожском и Керченском железорудных бассейнах, Белозерско-Ореховской и Одесско-Белоцерковской зонах. Руды представлены двумя генетическими типами – метаморфогенными на Украинском щите и осадочными в Крыму.

По запасам и ресурсам марганцевых руд Украина занимает первое место в Европе и второе в мире (после ЮАР). Главные их запасы сосредоточены в Никопольском бассейне (включает около 15 месторождений) и Боль-

шетокмакском месторождении, содержащем около двух третей запасов. Руды имеют осадочное происхождение, залегают на небольшой глубине (10–100 м), что позволяет разрабатывать их открытым способом.

Украина имеет наибольшие в Европе запасы и ресурсы титана. Государственным балансом запасов учтено 15 месторождений, из которых четыре разрабатывается. Они представлены различными генетическими типами: ильменитовыми основными породами и корами выветривания, аллювиальными и комплексными циркон-рутил-ильменитовыми прибрежно-морскими россыпями. Источником рудных компонентов были разрушающиеся породы Украинского щита.

По общим запасам ртути Украина занимает пятое место в мире и второе в Европе. Наиболее крупным является ранее разрабатывавшееся Никитовское ртутное месторождение Донбасса. Вторым по значению районом локализации такого сырья являются месторождения Закарпатья.

По подтвержденным запасам и ресурсам урана Украина занимает первое место в Европе; она имеет 1,8 % подтвержденных мировых запасов. Госбалансом учтено 17 месторождений, большинство из которых размещается на Украинском щите. Формирование промышленных скоплений связано с процессами щелочного метасоматоза, развившегося по протерозойским щелочным породам. Возраст урановых руд составляет 1,8–1,7 млрд лет.

Золото в Украине залегают на территории трех основных золотоносных провинций: Карпатской, Украинского щита и Донецкой. Около 75–80 % общих ресурсов золота сосредоточено на УЩ (более 10 рудопроявлений и около 20 перспективных участков), 15 % – в Карпатском регионе, где известно три небольших месторождения. Общие запасы золота страны оцениваются по зарубежным данным в 30 т, подтвержденные составляют 20 т.

В народном хозяйстве Украины используется около 80 видов нерудного сырья. По таким скоплениям, запасам и масштабам добычи страна относится к числу крупнейших в Европе или даже в мире. Украина полностью обеспечена всеми видами строительных материалов, для разработки которых используется около 1500 карьеров (треть из них – на Украинском щите). Среди них пильный и облицовочный камень, камень для получения щебня, гипс, карбонатно-глинистое сырье для получения цемента. Насчитывается 140 месторождений декоративно-облицовочного камня, из которых более половины уже разрабатывается. В Украине известны месторождения: каолинов (34), песка формовочного (22), доломита (8), бентонитовых глин (6), кварцита и кварцевых песков (5).

Каменная соль распространена на обширных территориях. Она связана с девонскими и пермскими отложениями в ДДВ, юрскими в Предбруджье и неогеновыми в Предкарпатье и Закарпатье. Добыча соли производится шахтным способом, частично – методом подземного выщелачивания. Наконец, добыча самосадочной соли из морской воды производится в бассейнах Сиваша. Госбалансом запасов учтено 14 месторождений пищевой соли; по балансовым запасам (16,6 млрд т) страна занимает первое место в мире.

Агрохимическое сырье представлено скоплениями калийных солей, апатитов и фосфоритов. Калийные соли сосредоточены главным образом в Ивано-Франковской области и относятся к неогеновой галогенной формации Предкарпатского краевого прогиба. Здесь известно более 20 месторождений. В Донбассе и ДДВ калийные соли пермского возраста известны

в Краматорско-Часовьярской синклинали. Месторождения апатита и фосфоритов изучены пока недостаточно. Первые из них известны в Приазовье и других районах УЩ, а фосфориты относятся к разновозрастным отложениям разных регионов.

По разведанным запасам самородной серы Украина занимает одно из ведущих мест в мире. Ее месторождения локализованы главным образом в Предкарпатском сероносном поясе (бассейне), который считается крупнейшим в мире. Украина занимает второе место в мире по запасам графита; его прогнозные ресурсы составляют 20 % мировых (Китай имеет 26 %). В стране выявлено около 300 месторождений и проявлений графита, из которых 5 учтено Госбалансом запасов. Особый интерес представляют бентониты, или бентонитовые глины. Известно около 100 их месторождений и проявлений. Керамическое и стекольное сырье представлено большим количеством месторождений каолинов, а также стекольных песков.

Металлургическое сырье включает карбонатные породы, используемые в доменном процессе. На территории известно 17 месторождений флюсовых известняков, наиболее крупные из которых располагаются в Донбассе. Крупные месторождения огнеупорных и тугоплавких глин имеются в разных областях. В качестве динасового сырья используются кварциты и песчаники, лучшими из которых считаются овручские кварциты Житомирской области. Флюорит, являющийся хорошим флюсом для плавки глин, образует ряд месторождений и скоплений. Потребности металлургии обеспечивает его Покровско-Киреевское месторождение в Приазовье.

Большой интерес в Украине могут представлять самоцветы, а также поделочный камень. По своему разнообразию и масштабам они могут рассматриваться как одни из наиболее важных и перспективных полезных ископаемых, пока еще не в полной мере изученных и используемых. Среди наиболее известных можно назвать Вольтинское месторождение на Житомирщине (топаз, берилл, морион, письменный гранит-пегматит), Прилуцкое (родонит, родохрозит), Курьяновское и Нагорнянское (агальматолит), Головинское и Федоровское месторождения иризирующего лабрадорита. В Крыму известно Бешуйское месторождение гагата, в Донбассе – Новолюбимовское месторождение горного хрусталя и др. С 1993 г. разрабатывается Клессовское месторождение янтаря.

Поделочные камни также представлены очень широко. Это кварциты, кварцитовидные песчаники, железистые роговики и джеспилиты Украинского щита, гипс-ангидрит-селенитовые породы западных районов Украины и Донбасса, рисунчатые разновидности кремневых скоплений в верхнем мелу Подолии, ДДВ, Горного Крыма. К числу более редких проявлений относятся яшмы и яшмовидные породы (Збрановское месторождение Житомирщины, Карадагское месторождение Крыма), пегматиты Волновахского района Донецкой области и Вольтини, алунитовые, перлитовые и риолитовые породы Закарпатья, окаменевшая древесина из карбона Донбасса и неогена ДДВ. Целый ряд поделочных и драгоценных камней пока изучен очень слабо.

По запасам гидроминеральных ресурсов Украина занимает ведущее место в Европе. Здесь разведано 200 месторождений минеральных вод, для большинства которых обоснованы лечебные свойства. Распространены практически все известные их типы: углекислые, сульфидные, радоновые с разным составом катионов. Они известны практически во всех структурах,

но наибольшее количество минеральных вод находится в Карпатах. Месторождения термальных вод выявлены в Закарпатье и Крыму; глубина их залегания 600–3000 м, а температура воды от 40–80 до 110°С.

Энергетическое сырье, горючие или топливные полезные ископаемые включают такие основные виды, как уголь (каменный и бурый), горючие сланцы, нефть, природный газ, газоконденсат, торф. Украина с ее развитой промышленностью и транспортом испытывает большую потребность в энергоносителях, что привлекает к ним особое внимание. Кроме того, каустобиолиты и нефтяные воды содержат разнообразные попутные полезные ископаемые, которые могут извлекаться в процессе их переработки.

Уголь является единственным энергетическим сырьем, запасы которого могут обеспечить потребности промышленности и энергетики страны на ближайшие 200–500 лет. Каменные угли размещаются в Донецком (98 % запасов) и Львовско-Волынском бассейнах. Основная сложность их при добыче – большие глубины залегания, обычно крутые углы падения пластов и небольшие их мощности. В Донецкой и Луганской областях уже пройдено более 15 шахт глубиной свыше 1000 м.

Бурые угли также являются важным энергетическим сырьем; кроме использования в качестве непосредственного топлива они перерабатываются в дизельное топливо и бензин. Главные запасы этих углей сосредоточены в Днепровском и частично в Днестровском бассейнах. В Днепровском угольном бассейне известно более 20 месторождений; значительная их часть пригодна для разработки открытым способом.

Горючие сланцы образуют на территории Украины крупные скопления. Наибольшие из них приурочены к Болтышской впадине, расположенной на территории Кировоградской и Черкасской областей. Важным резервом подобного сырья являются менелитовые сланцы из палеогена Предкарпатья, которые представляют собой высокозольную разновидность горючих сланцев. В настоящее время интерес к горючим сланцам обусловлен возможностью получать из таких образований сланцевый газ.

Торф традиционно рассматривается в составе энергетического сырья, хотя он не менее важен и как минеральное удобрение или химическое сырье. В Украине известно более 2500 его месторождений, расположенных в основном в северо-западных и центральных областях (районах Полесья). Кроме того, в стране имеется около 350 месторождений сапропелитов, которые являются разновидностью ископаемых углей и ценным сырьем для химической промышленности, так как обладают повышенным выходом летучих веществ и первичного дегтя.

Нефть, газ и конденсат известны в разных частях Украины. Наибольшие их скопления имеются в Днепровско-Донецкой, Предкарпатской и Причерноморско-Крымской нефтегазоносной областях. В составе последней, которую следует считать наименее детально изученной, выделяют Причерноморскую моноклираль, Каркинитский и Преддобруджинский прогибы, а также шельфовые зоны Черного и Азовского морей. В последнее время эти площади принято разделять на Восточный, Западный и Южный нефтегазоносные регионы. На территории страны разведано около 260 месторождений нефти и газа. Вместе с тем, страна испытывает острый дефицит в этом виде сырья. Кроме того, большое количество разрабатываемых и выявляемых залежей размещается на больших глубинах, частично – в прилежащих акваториях, что затрудняет их поиски и разработку.

11. 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 нефтегазопроисловых 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 с 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. Общие представления об истории изучения подземной гидросферы дает недавно появившийся справочник «Подземные воды» (2005, Приложение 1, с. 150–169).

Термин «гидрогеология» впервые ввел Ж.Б. Ламарк в 1802 г. Однако он использовал термин не в современном понимании, а включал в него геологическую деятельность всех природных вод, влияющие воды на земную поверхность, воздействие на нее биосферы. В современном виде гидрогеология оформляется в конце XIX века, когда этот термин стали употреблять для обозначения учения именно о подземных водах (Д. Лукас в Великобритании, Н.А. Головкинский в России) и появляются первые учебники по подземным водам на французском (А. Добре, 1887) и на немецком (И. Гааз, 1895) языках. Кстати, термина «гидрогеология» в этих работах еще не было. В XX веке большой вклад в развитие гидрогеологии внесли С.Н. Никитин, Н.Н. Славянов, Г.Н. Чирвинский, В.И. Вернадский, А.Ф. Лебедев, Ф.П. Саваренский, О.К. Ланге, В.С. Ильин, А.К. Семихатов, Н.Ф. Погребов, Г.Н. Каменский, Н.И. Толстихин, Н.А. Плотников, К.А. Маков, М.Е. Альтовский, Б.И. Куделин, Ф.М. Бочеве, А.И. Силян-Бекчурин, В.Н. Щелкачев, И.Е. Жернов, В.М. Шестаков, Н.К. Игнатович, М.А. Гатальский, А.А. Карцев, В.А. Сулин, А.М. Овчинников, И.К. Зайцев, Н.А. Маринов, Н.В. Роговская, А. Лейн, Ч. Чейс, М. Маскет, Е.В. Пиннекер, В. Кейльгак, Е. Принц, Ч. Сливтер, О. Мейнцер, М.К. Хабберт, Д. Тодд, Д. Уайт, А. Шёллер, О. Дэвис, Р.-де-Уист и многие другие.

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.

Типы подземных вод и условия формирования их в литосфере

За время истории развития естествознания были высказаны различные представления о происхождении подземных вод. В период становления гидрогеологии как самостоятельной науки в конце XIX в. и в течение всего XX в. происходила оживленная дискуссия между сторонниками инфильтрационной, конденсационной, седиментационной и ювенильной концепций происхождения основной массы подземных вод. В какой-то мере эта дискуссия продолжается и в настоящее время.

Наряду 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.

Инфильтрогенные (инфильтрационные) воды формируются путем просачивания (инфильтрации) атмосферных осадков в поры горных пород или инфлюации (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 атмогенными, или метеогенными, рожденными внешними процессами. Инфильтрогенные 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 инфильтрогенными, 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 ювенальные 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 инфильтрогенных, 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.

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, образуемая 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 достаточного увлажнения (гумидные условия) и областей недостаточного увлажнения (аридные условия). В первом случае вследствие многократной проницаемости пород формируются ультрапресные и пресные

грунтовые воды выщелачивания. Во втором случае в результате испарения с 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, выраженный в процентах. В общем случае величины общей, открытой и эффективной скважности определяются соотношением $n_o \geq n_o \geq n_{эф}$. 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:

$$K_n = K_f \cdot \frac{\mu}{\gamma} = K_f \cdot \frac{\mu}{\rho g},$$

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 высоко-проницаемые	более 100 м/сут.	гравий, галька, интенсивно закарстованные известняки и гипсы
Высоко-проницаемые	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
Слабо-проницаемые	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. Под фильтрацией подземных вод понимается движение свободной (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:

$$K_n = K_\phi \cdot \frac{\mu}{\gamma} = K_\phi \cdot \frac{\mu}{\rho g},$$

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 Гнезипольского.

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 (%) расходует 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 глубиной 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.

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

и прозрачность, цветность, запах, вкус, температура, плотность, вязкость, электропроводность, радиоактивность, рН, 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⁻, SO₄⁻², HCO⁻, CO₃⁻²; 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⁻, H₃PO₄⁻³, 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); солончатые (1–3 г/дм³), слабосолончатые (3–10 г/дм³), сильносолончатые (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 солончатыми 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 псевдодробь – температура воды (°C) и дебит источника (скважины) в л/сут.

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

$$H_2S\ 0,421\ Br\ 0,06\ I\ 0,06\ M\ 26,0\ \frac{Cl\ 197\ HCO_3\ 2}{(Na + K)\ 79\ Ca\ 14}\ T\ 34,5\ D\ \sum\ 40$$

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).

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). Развиты 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 (Московский артезианский бассейн) 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 «включы» по названию источника Воклюз во Франции, среднегодовой дебит которого 30 м³/с, а максимальный около 150 м³/с. Еще более мощными включениями являются Люта в Словении (макс. дебит 170 м³/с) и Мчишта в Абхазии (макс. дебит 200 м³/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 200–300 г/дм³ хлоридного кальциевого, натриевого и натриево-кальциевого состава, содержащие К,

Br, В, 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 металлоносных 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 гидрхимических 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.

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.

Оползни типичны для побережий Черного и Азовского морей, многих речных долин (например, в Поволжье). Знание районов, где возможно проявление этого процесса, имеет большое значение при строительстве. Так, уже в последние годы оползни, сопровождающиеся разрушением жилых зданий, происходили в Днепропетровске, Подолии, Киевщине, в Харьковской, Полтавской и других областях. Среди мер борьбы с оползнями – создание дренажных колодцев, где скапливается вода, что не позволяет склону «ползти» по водоупору, а также строительство бетонных опор, удерживающих смещение водонасыщенных пород.

Кроме 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°С, 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 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 изо льда или наоборот, существования протаивших 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. Геологу 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 содержавшейся 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 се-диментогенной 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).

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 разделение 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 и 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 и 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 и наблюдения документируются. 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.

Региональная гидрогеология

Таким термином называется раздел гидрогеологии, изучающий закономерности распространения, формирования, состав подземных вод, водоносные структуры, другие гидрогеологические особенности отдельных тектонических структур, регионов, областей, стран. Результаты регионально-

гидрогеологических исследований отражаются на соответствующих картах, схемах, профилях и в описаниях (отчетах, монографиях, других публикациях). В числе первых отечественных работ такого типа можно назвать исследования Н.Д. Борисяка (1862), положившего начало изучению подземных вод Днепровско-Донецкой впадины, С.Н. Никитина, впервые выделившего Московский артезианский бассейн. Систематическое изучение такого направления начинается в 1930-е гг. В течение 1966–1978 гг. издана 50-томная сводка «Гидрогеология СССР», где содержится огромный фактический материал по подземным водам отдельных районов страны; эту работу называют иногда региональной гидрогеологической энциклопедией.

Регионально-гидрогеологические исследования включают разработку принципов районирования, характеристику основных гидрогеологических структур. Главными среди них являются артезианские бассейны, среди которых выделяются платформенные и межгорные. Среди основных направлений такого изучения – гидрогеологическая и гидрохимическая зональность, проявленная в вертикальном и горизонтальном планах. Более сложное строение характерно для подземных вод горно-складчатых областей и систем. Еще одной группой гидрогеологических структур являются области трещинных вод кристаллических массивов платформ, а также вулканических поясов. Региональная гидрогеология изучает общие закономерности формирования подземных вод в разных природных условиях – зонах умеренного, недостаточного или избыточного увлажнения, в областях распространения многолетних мерзлых грунтов, вечной или многолетней мерзлоты (криолитозоны).

Понять суть региональной гидрогеологии легче всего на примере рассмотрения подземных вод Украины. Это один из наиболее детально изученных в гидрогеологическом отношении регионов. На территории страны выделяются гидрогеологические области (провинции) Украинского кристаллического щита, Донецкого, Крымского и Карпатского складчатых сооружений, а также Днепровско-Донецкого, Волыно-Подольского и Причерноморского артезианских бассейнов. С юга к территории страны примыкает субмаринный Черноморский артезианский бассейн.

Гидрогеологический массив Украинского щита соответствует выходу на поверхность или близповерхностному залеганию кристаллических пород докембрия. Особенностью структуры следует считать то, что на значительной площади она перекрыта осадочным чехлом мощностью до 100–200 м. Основной и наиболее широко распространенный водоносный горизонт щита находится в верхней трещиноватой зоне кристаллических пород, мощность которой от 30–70 до 100–150 м. Горизонт этот является единым, не зависит от возраста и состава пород; наиболее обводнены в его пределах трещиноватые гнейсы, мигматиты, краевые части гранитных батолитов. Он широко используется для водоснабжения. Трещинные воды являются слабонапорными; фонтанируют лишь единичные скважины. Воды обычно пресные; их минерализация повышается с глубиной, а также в Приазовском районе. В Криворожском железорудном бассейне в глубоких частях разреза вскрыты рассолы. Водоносные горизонты находятся и в отложениях осадочного чехла этой структуры.

Гидрогеологические области Донбасса, Горного Крыма и Украинских Карпат характеризуются низко- и среднегорным рельефом, выходом на поверхность верхнепалеозойских, мезозойских и мел–кайнозойских отложений флишевого и флишоидного типов. Область Донецкого складчатого сооружения включает Открытый Донбасс, представляющий собой адартезианский бассейн, и систему малых артезианских бассейнов северо-западного его продолжения, где пресные воды имеются в мезозое. В пределах Донбасса удается выделить верхний и нижний водоносные комплексы; последний представлен известняками низов карбона и имеет наибольшее значение для водоснабжения. Водоносные горизонты угленосной формации приурочены к песчаникам; они же определяют водопритоки в шахты. На глубине более 200 м водоносность заметно снижается, будучи отнесена преимущественно к зонам тектонических нарушений.

Более сложные геологические и гидрогеологические условия характерны для Карпат, где размещается Раховский массив, Закарпатский межгорный артезианский бассейн, Предкарпатский краевой прогиб (бассейн). В складчатых Карпатах воды развиты в зонах экзогенной трещиноватости, а к зонам тектонических нарушений относятся трещинно-жильные воды, являющиеся чаще всего минеральными. В Предкарпатском артезианском бассейне верхний гидрогеологический этаж с пресными водами размещен на глубинах до 50–100 м во Внутренней зоне и до 150–250 м во Внешней. Более глубокие горизонты нижнего гидрогеологического этажа содержат седиментогенные рассолы, с которыми ассоциируют залежи нефти и газа. В Закарпатском артезианском бассейне пресные воды верхнего этажа известны в четвертичном аллювии, эффузивно-туфогенной толще и верхней части неогенового молассового комплекса. Глубже встречены соленые воды, а в Солотвинской впадине (бассейне) – рассолы. Особенностью Карпат является обилие разнообразных минеральных вод.

Основным водоносным горизонтом Горного Крыма являются известняки верхней юры, сильно нарушенные карстом. Их подземные воды выходят на поверхность в виде многочисленных карстовых источников типа воклюзов с переменными параметрами и показателями (Карасу-Баши, Скельский и др.). Разнообразные грунтовые воды размещаются также на склоновых и аллювиальных речных отложениях этого складчатого сооружения.

Днепровско-Донецкий артезианский бассейн является одним из наиболее крупных на территории Украины, а возможно – и Европы. Мощность осадочного чехла, представленного средним и верхним палеозоем, мезозоем и кайнозоем, составляет от 0,5–1,5 км на бортах до 12–18 км в юго-восточной части впадины. В нем выделяется порядка пятнадцати водоносных горизонтов, сравнительно хорошо прослеживаемых по всей структуре. По составу вод и характеру их подвижности здесь выделяют верхний гидрогеологический этаж (мощность от 200–300 до 800–1500 м) с преимущественно пресными инфильтрационными водами в породах мела и кайнозоя. Наиболее широко для централизованного водоснабжения используют бучакско-каневский, мергельно-меловой и сеноман-нижнемеловой водоносные горизонты. В составе этажа выделена зона активного и затрудненного водообмена. Нижний гидрогеологический

этаж характеризуется застойным гидродинамическим режимом. В центральной части бассейна он включает водоносные комплексы юры, триаса и палеозоя. Они содержат седиментогенные рассолы и залежи нефти и газа. На глубинах более 4–5 км встречены газоводоносные горизонты со сверхгидростатическим пластовым давлением.

Причерноморский и Волыно-Подольский артезианские бассейны имеют более сложное строение; они включают несколько депрессий и выступов второго порядка. Общая мощность осадочного чехла в Волыно-Подольском бассейне порядка 5 км. Он включает инфильтрогенные воды верхнего гидрогеологического этажа (водоносные горизонты неогена, мела, а на востоке — еще и среднего–нижнего палеозоя). В гипсах тортона известны протяженные карстовые пещеры. На западе палеозойские и протерозойские водоносные комплексы относятся к нижнему гидрогеологическому этажу и содержат рассолы.

Причерноморский артезианский бассейн является семимаринным, частично находится на суше, а также в прилегающей акватории. Основным водоносным комплексом верхнего гидрогеологического этажа является неогеновый, содержащий воды пестрого состава в песках и известняках-ракушечниках. Под майкопским глинистым водоупором залегают нижний этаж, содержащий в основном соленые седиментогенные воды и залежи углеводородов. В акваториях встречены геогидродинамические системы со сверхгидростатическими пластовыми давлениями. Они же характерны и для Черноморского субмаринного артезианского бассейна. Общая мощность осадочного чехла в пределах этих бассейнов составляет по геофизическим данным до 10–15 км.

В настоящее время естественный гидродинамический и гидрохимический режим гидрогеологических структур Украины очень сильно изменен в связи с разнообразными видами хозяйственной деятельности. Для верхнего гидрогеологического этажа наибольшие изменения связаны с интенсивным водоотбором, строительством водохранилищ, каналов и других гидротехнических объектов, разработкой полезных ископаемых крупными карьерами, шахтами, проведением осушительной и оросительной мелиорации. Влияние на гидрогеологическую обстановку как нижнего, так и верхнего гидрогеологических этажей оказывают работы по поискам, разведке и разработке залежей нефти и газа, созданию и эксплуатации подземных газохранилищ, другие работы.

Использование подземных вод

В качестве подземных вод хозяйственно-питьевого назначения рассматриваются пресные (с минерализацией менее 1 г/дм³) и в определенных условиях слабоминерализованные (до 2–3 г/дм³, иногда более) подземные воды, используемые для питьевого и коммунального водоснабжения населенных пунктов, водоснабжения промышленных предприятий и сельскохозяйственных объектов, а также для орошения (питьевые, технические, оросительные воды). Состав и качество подземных вод хозяйственно-питьевого назначения лимитируются соответствующими нормативными требованиями. Нормативы качества питьевых вод включают микробиологические, токсикологические, химические и органолептические показатели.

При оценке и характеристике количества подземных вод используются термины «запасы» и «ресурсы», что не одно и то же. Под термином «запасы» понимается количество воды (объем), содержащееся в рассматриваемом гидрогеологическом элементе. Под термином «ресурсы» понимают величину возобновления подземных вод в естественных условиях или в условиях эксплуатации за определенный период времени (расход).

Различают естественные и искусственные запасы и ресурсы, привлекаемые ресурсы и эксплуатационные запасы (ресурсы). Под эксплуатационными запасами (ресурсами) понимается количество (расход, м³/сут.) подземных вод, которое может быть получено на месторождении с помощью рациональных в технико-экономическом отношении водозаборных сооружений при заданном режиме эксплуатации и при качестве воды, удовлетворяющем требованиям целевого ее использования водопотребителем в течение расчетного срока.

Основными типами месторождений подземных вод хозяйственно-питьевого назначения являются: 1) подземные воды в речных долинах; 2) артезианские бассейны платформенного типа; 3) артезианские бассейны межгорных впадин и конусов выноса; 4) ограниченные по площади структуры и массивы трещиноватых или карстующихся пород и потоки трещинно-жильных вод зон тектонических нарушений; 5) грунтовые воды песчаных массивов; 6) межморенные отложения; 7) подземные воды области распространения многолетнемерзлых пород.

Минеральными лечебными называются те воды, которые содержат в повышенных концентрациях минеральные, органические компоненты и газы или обладают особыми физическими свойствами (радиоактивность, температура и др.), благодаря чему эти воды оказывают на человеческий организм лечебное действие при внешнем или внутреннем применении.

Распространение получила классификация минеральных лечебных вод В.В. Иванова и Г.А. Невраева (1964), которая широко используется и сейчас, иногда с некоторыми изменениями и добавлениями. Выделяются воды без специфических компонентов и свойств, бальнеологическое действие которых определяется составом микрокомпонентов и величиной общей минерализации, которая должна быть более 1 г/дм³. Они классифицируются по основному солевому составу. Так, широко распространены сульфатные кальциевые воды (московский тип), хлоридные кальциевые (Миргородская, Славянская и др.), гидрокарбонатно-хлоридные и хлоридно-гидрокарбонатные натриевые (Гоголевская, Царичанская и др.) и другие по составу воды этой группы. Реже встречаются высокоминерализованные сульфатные магниевые (Эпсон в Англии), сульфатно-хлоридные магниевые-натриевые («Коротыше» в Трускавце, «Баня» в Моршине) и др.

Среди минеральных вод, лечебное действие которых определяется содержанием специфических бальнеологически активных компонентов, выделяются:

- 1) углекислые ($\text{CO}_2 \geq 500$ мг/дм³);
- 2) сероводородные (сульфидные) ($\sum \text{H}_2\text{S} \geq 10$ мг/дм³);
- 3) бромные, йодные, йодо-бромные ($\text{Br} \geq 25$ мг/л, $\text{I} \geq 5$ мг/дм³);
- 4) железистые ($\text{Fe} \geq 10$ мг/дм³);
- 5) мышьяковистые ($\text{As} \geq 0,7$ мг/дм³);
- 6) с повышенным содержанием органических веществ ($\text{C}_{\text{орг.}} \geq 8$ мг/дм³);

7) кремнистые ($H_2SiO_3 \geq 50$ мг/дм³);
8) борные ($H_3BO_3 \geq 35$ мг/дм³);
9) радоновые ($Rn \geq 185$ Бк/дм³). В последние годы академиком В.М. Шестопаловым выделены новые типы минеральных вод со специфическими компонентами: серебряные ($Ag \geq 0,1$ мг/дм³); литиевые ($Li \geq 5$ мг/дм³); стронциевые ($St \geq$ мг/л); селеновые ($Se = 6-11$ мкг/л). Минеральные воды, содержащие специфические компоненты, могут быть монокомпонентными, бикомпонентными и поликомпонентными.

Углекислые воды распространены в районах современной или недавней вулканической деятельности. К этому типу относятся воды всемирно известных курортов: Бад-Наугейм (Германия), Виши (Франция), Карловы Вары (Чехия), Кисловодский Нарзан, Эссентуки (Россия), Боржоми (Грузия). В Украине углекислые воды наиболее характерны для Карпат и Закарпатья (Поляна, Шаян и др.).

Сероводородные воды чаще всего образуются в результате реакции биогенной сульфатредукции. Широко известны сероводородные воды курортов Экс-Ле-Бен (Франция), Сочи-Мацеста (Россия), Кемери (Латвия). В Украине они распространены в Предкарпатье (Великий Любень и др.), в Причерноморье и Крыму (Евпатория и др.).

Бромные и йодо-бромные воды типичны для глубоких горизонтов большинства артезианских бассейнов. В Украине используются в санаторно-курортном лечении в Трускавце, Моршине, Новых Санжарах, Одессе, Бердянске и др. Железистые минеральные воды известны в различных структурах. Минеральные воды в Карелии, Полюстрово в Санкт-Петербурге используются со времен Петра I. В Украине наиболее известно Славяногорское месторождение в Донбассе. Многие углекислые воды являются также железистыми (Келечин).

Мышьяковистые воды встречаются нечасто и еще реже используются в бальнеологической практике. В России наиболее известно Синегорское месторождение (Сахалин), а в Украине – месторождение Горная Тиса в Раховском массиве, уникальная поликомпонентная вода которого содержит углекислоту, мышьяк, железо, йод, бром, бор, кремнекислоту в бальнеологически активных концентрациях.

В Украине впервые стали использовать и выделили новый тип минеральных вод с высоким содержанием биологически активных органических веществ. Самыми известными его представителями являются Нафтуся в Трускавце, а также Збручанское, Маковское месторождения в Приднестровье, Березовское и Рай-Еленовское на Харьковщине. В Германии к этому типу относится месторождение Брамштедт.

Среди кремнистых вод в мировой бальнеологической практике наиболее широко используются кремнистые термы, которые связаны с зонами разломов в тектонически активных областях (слабосероводородные кремнистые термы Пиренеев, Тбилиси, радоновые кремнистые термы Цхалтубо и др.). В Украине впервые выявлены и используются холодные кремнистые воды, содержащие 50–70 мг/л кремнекислоты и формирующиеся в неглубоких водоносных горизонтах (Березовское, Рай-Еленовское и др.).

Радоновые воды широко распространены в зоне трещиноватости кислых магматических пород и в зонах разломов в кислых породах. Известные курорты, использующие радоновые воды, – Пятигорск (Россия), Цхалтубо

(Грузия), Брамбах (Германия). В Украине радоновые воды наиболее характерны для Украинского щита (Хмельник, Белая Церковь, Звенигород, Кривой Рог и др.).

Промышленными называются воды, содержащие полезные компоненты в количествах, обеспечивающих их рентабельную добычу и переработку с целью получения необходимой продукции. В мировой практике из таких подземных вод добывают хлористый натрий, йод, бром, калий, магний, бор, вольфрам, литий, рубидий, цезий, германий, уран и др. (всего около 50 компонентов). Наиболее часто подземные воды используют для получения брома и йода. Кондиционными считаются концентрации брома 250 мг/л, йода более 18 мг/л. Существуют рассолопромыслы, где рассолы специально откачивают для этих целей с глубин 500–1000 метров и более (Краснокамский рассолопромысел в Пермской области России, Челекенский рассолопромысел в Туркмении). В ряде случаев йод и бром добывают из попутных промысловых вод, получаемых при добыче нефти (Азербайджан, США и др.).

В Украине есть Стрелковское (Степной Крым) месторождение йодоборных вод, запасы которого подсчитаны, однако оно не разрабатывается. Имеется много участков, где подземные воды содержат высокие концентрации Br, I, B, Li, Rb, Cs. Однако возможности добычи сдерживаются большими глубинами и невысокой производительностью скважин. Наряду с месторождениями имеются и перспективные участки.

Теплоэнергетическими (термальными) водами обычно называют воды с температурой более 35°C. Их принято разделять на низкопотенциальные ресурсы (35–100°C), которые используются для теплофикации, отопления теплиц, животноводческих и рыбопродуктивных комплексов, наполнения спортивно-оздоровительных бассейнов, и высокопотенциальные ресурсы, представляющие собой пароводяную смесь или сухой пар с температурой более 100°C, которые используются для выработки электроэнергии на геотермальных электростанциях (ГеоТЭС).

Высокопотенциальные ресурсы наиболее доступны для освоения в районах современной вулканической деятельности, где имеются естественные выходы парогидротерм или их можно вывести скважинами с небольших глубин. В настоящее время действующие ГеоТЭС имеются более чем в 50 странах. Примером гидротермальной энергетики является Италия, где ГеоТЭС Лардерелло работает с 1914 г., а лидером – США, где общая мощность ГеоТЭС превысила 2000 МВт и действует самая мощная в мире ГеоТЭС Гейзеры Сономы в Калифорнии. В России действует две ГеоТЭС на Камчатке (Паужетская и Мутновская). Мощные ГеоТЭС имеются также в Японии, Новой Зеландии, Мексике, Исландии и других странах. В Украине имеется проект создания ГеоТЭС типа «подземный котел» на площади Залуж в Закарпатье.

Низкопотенциальные ресурсы доступны для рентабельного освоения во многих странах. Теплофикация и горячее водоснабжение за счет подземных вод осуществляется в ряде городов Северного Кавказа (Махачкала, Кизляр), в Узбекистане (Ташкент), во Франции (Париж) и во многих других районах. Особое развитие эти работы получили в Исландии, где термальными водами обогреваются многочисленные тепличные хозяйства.

В заключение необходимо еще раз обратить внимание на то, что подземные воды занимают особое место в геологии планеты и жизни человека. Вода может рассматриваться как один из минералов или как горная порода, которые при обычных для нас земных условиях чаще всего существуют в жидком состоянии. Это важнейшее полезное ископаемое, без которого жизнь практически всех представителей органического мира просто невозможна. Вместе с тем, это важный, часто определяющий фактор большинства экзогенных геологических процессов в недрах и на поверхности Земли, а также многих эндогенных. Причем практическая необходимость подземных вод соседствует в природе с не всегда полезной, по мнению человека, деятельностью воды, о чем свидетельствует изучение оползней, карста, пльвунов, засоления почв и грунтов, процессов подтопления.

Изучение подземных вод имеет важное значение для самых разных наук о Земле, других теоретических задач, а также развития хозяйства и прочих прикладных целей. Во многих регионах и населенных пунктах Украины именно за счет таких вод обеспечивается водоснабжение. Питьевые, технические, минеральные и термальные воды являются полезными ископаемыми, запасы которых при определенных условиях могут восполняться. И наоборот – загрязненный подземный водоносный бассейн или горизонт восстановлению не подлежит. Поэтому глубокие знания условий их формирования и правильная рациональная эксплуатация, грамотное использование подземной гидросферы – залог экологической устойчивости окружающей среды и обеспечения водными ресурсами будущих поколений.

12. ГЕОМОРФОЛОГИЯ

Геоморфологией называют науку о рельефе Земли, его происхождении, внешнем облике, эволюции, закономерностях площадного распространения. Данное направление исследований развивается на стыке геологических и географических наук, являясь объектом одновременного изучения разными специалистами. Геологию в рельефе интересует преимущественно исторический аспект исследований (возраст рельефа, происхождение и условия формирования во времени), соответствие рельефа тектоническим структурам, а также прикладные вопросы – расшифровка геологического строения по данным геоморфологического анализа, возможность использования таких данных для поисков определенных полезных ископаемых, главным образом, россыпных и нефтегазовых скоплений. Географический аспект геоморфологии сводится в значительной части к морфометрическим исследованиям, грациям рельефа (типы, формы и др.), его районированию, выявлению условий формирования. Особое значение изучение рельефа приобрело в последнее время, когда сформировались разнообразные и эффективные методы дистанционных морфометрических исследований из космоса, позволяющие решать многие теоретические и прикладные вопросы наук о Земле.

Исходя из такого понимания данной науки в ее составе следует выделять общую, морфометрическую и динамическую геоморфологию (изучает природные процессы, формирующие рельеф). Региональная геоморфология рассматривает вопросы районирования, особенности рельефа разных площадей (его распространение на площади и развитие). Составной ее частью является также палеогеоморфология – раздел палеогеографии или даже исторической геологии, изучающий закономерности развития рельефа во времени. Прикладное направление геоморфологии решает задачи поисков полезных ископаемых, расшифровывает какие-то вопросы геотектоники и геодинамики, а также инженерной и экологической геологии. Иногда выделяют планетарную геоморфологию, изучающую рельеф планеты в целом, что имеет важное значение для планетологии, земледования.

Такую структуру рассматриваемой науки нельзя считать общепризнанной, что обусловлено не только формированием ее на стыке географии и геологии, но и непрерывно меняющимися представлениями о ее сути и возможностях. К числу родственных наук, с которыми активно взаимодействует геоморфология, необходимо отнести физическую географию, картографию, геодезию, общее земледование. Продуктивное ее сотрудничество осуществляется с динамической геологией, геотектоникой и структурной геологией, палеогеографией, без использования данных которых невозможен полноценный и объективный геоморфологический анализ. Сведения об условиях формирования рельефа широко используют планетология и океанология. Все это показывает важную роль изучения рельефа для наук о Земле.

Пограничное положение геоморфологии определяет многообразие ее методов. Главными среди них являются морфометрические (оценка рельефа на основе топографического и картографического, а также космического материала), морфологические методы, предполагающие не только измерение и количественную его оценку, но и описание основных типов и форм.

Генетические методы предполагают выяснить происхождение рельефа, эволюцию и зависимость от различных эндогенных и экзогенных факторов. Тесно с ними связаны палеогеоморфологические методы, выявляющие развитие рельефа во времени (изучение террас, поверхностей выравнивания). Структурно-геоморфологические методы показывают связь рельефа с геологическими структурами, а также характер проявления новейших и современных тектонических движений. Свои методы используются при изучении рельефа акваторий — морских и океанических площадей (геофизические, дистанционные и др.). Одним из методов данной науки следует считать составление геоморфологических карт.

Основные задачи и роль геоморфологии применительно к интересам геологии могут быть определены следующим образом. Геоморфологические исследования имеют важное значение при изучении современных и неотектонических движений. Они являются обязательной частью инженерно-геологических изысканий при постройке каналов, тоннелей, мостов, прокладке железнодорожных, шоссейных и грунтовых дорог, регулировании русел рек. Изучение рельефа позволяет устанавливать площадь оползней, карста, процессов эрозии и оврагообразования. При проектировании ирригационных систем возникает много специальных вопросов, связанных с изменением режима поверхностных и грунтовых вод в соответствии с характером рельефа. Особую роль имеет изучение и анализ рельефа в районах вечной мерзлоты, речных и морских берегов, в местах активно осваиваемых площадей.

Геоморфология является одной из древнейших наук о Земле, начавшей развиваться при первой попытке человека дать общую характеристику рельефа, объяснить его происхождение. Все это определяет сложность изучения истории ее развития. Как научная дисциплина геоморфология начала оформляться в конце XVIII—начале XIX столетий, вслед за геологией, с развитием которой она тесно связана. М.В. Ломоносов в своей работе «О слоях земных» (1763) сформулировал идею о развитии рельефа как результата взаимодействия эндогенных и экзогенных сил. В учении школ плутонизма (Г.А. Вегенер) и непутизма (Д. Геттон, 1788) отдавалось предпочтение лишь одному из этих факторов. Ч. Лайель (1830) уделил внимание вопросам эволюции рельефа. К. Науманн (1852) впервые вводит в литературу термин «морфология земной поверхности».

Вторая половина XIX ст. характеризуется появлением ряда общих и специальных работ по рельефу. Д. Дана и Э. Зюсс охарактеризовали строение планетарных форм рельефа — материков и океанов. П.А. Кропоткин (1876) обосновывает теорию материкового оледенения. Выделение геоморфологии в самостоятельную науку связано с работами В. Девиса (1899) и В. Пенка (1924); первый из них разработал учение о географических (геоморфологических) циклах, а второй основное внимание уделял связи денудационных процессов с вертикальными движениями земной коры. Они с разных позиций рассматривали процессы пенеplanation, формирования денудационных равнин. В 30-х годах XX ст. появляется ряд обобщающих сводок по общей и региональной геоморфологии СССР, США, Западной Европы (И.С. Шукин, А. Лобек, О. Энгельн и др.); разрабатываются новые концепции по систематике и классифицированию рельефа.

Для второй половины XX ст. характерно появление огромного числа работ по самым различным вопросам геоморфологии. К.К. Марков развивал и систематизировал представления о возрасте и методах исследований рельефа, путях практического применения геоморфологии. В трудах Л. Кинга развиты новые взгляды на пенеplanation рельефа. И.П. Герасимов и Ю.А. Мещеряков выдвинули идею о «геоморфологическом этапе» развития Земли. Начинают более глубоко развиваться динамическая геоморфология (С.С. Воскресенский, 1971; Н.И. Николаев, 1962, 1988), учение о развитии берегов, морской геологии, мировом океане (В.Я. Зенкович, 1962; Ф.П. Шепард, 1976; О.К. Леонтьев, 1982 и др.), морфологический анализ. Выполняются частные геоморфологические исследования – изучение областей аридного рельефообразования, криогенных регионов, рельефа горных и равнинных стран, выполняется региональный анализ, картографирование и др. Появляется ряд учебников и учебных пособий по геоморфологии (Я.С. Эдельштейн, 1947; С.С. Лютцау, 1971; О.К. Леонтьев и Г.И. Рычагов, 1979; Д.С. Кизевальтер и А.А. Рыжова, 1981; Н.П. Костенко, 1999 и др.), методические руководства по геоморфологическим исследованиям.

Схема деления рельефа, факторы рельефообразования

В физической географии и геоморфологии предложено много схем деления рельефа, предусматривающих его генетические, морфологические и другие признаки, размер, иерархическое соподчинение, место размещения. В упрощенном виде такое деление выглядит следующим образом. Выделяют материковый и океанический типы рельефа (мега-рельеф), занимающие соответственно 29,2 и 70,8 % площади земной поверхности. На материках традиционно выделяются горы и равнины. По высоте горы разделяют на низкие (800 м над уровнем океана), средние или средневысотные (800–2000 м) и высокие (свыше 2000 м). Они занимают 6,5 % материковой площади; по происхождению их разделяют на тектонические и вулканические. В пределах равнин выделяют низменности (высота до 200 м над уровнем океана), возвышенности (200–500 м) и нагорные площади, или плоскогорья (свыше 500 м). По происхождению равнины могут быть речными, морскими или материковыми аккумулятивными и структурными (денудационными).

В пределах океанических площадей принято выделять шельф, или прибрежную окраину материковой платформы (6 % земной поверхности), континентальный склон глубиной до –2500 м (11 %) и ложе Мирового океана до –6000 м (56 %), а также глубоководные впадины (6,5 %), максимальная известная величина которых составляет 11022 м (Марианская впадина) и срединноокеанические хребты. Последние имеют общую протяженность свыше 60 тыс. км, ширину 250–1000 км, высоту до 4 км. Нужно уточнить, что шельфом называют относительно выровненную подводную окраину континентов глубиной обычно до 200 м. Ширина его различна; наибольшая известна у северной окраины Евразии, где она достигает 1500 км. Более дробное деление предполагает выделение океанских плит, островных дуг – цепей островов и подводных возвышенностей, разделяющих океаны и окраинные моря, океанских желобов, или глубоководных впадин вдоль островной дуги со стороны океана.

Рассматривая вещество земной коры, а также процессы динамической геологии, мы говорили об эндогенном, рожденном внутренними силами Земли, и экзогенном их происхождении. Такое же деление принято относить и к рельефу, выделяя эндогенное и экзогенное рельефообразование. В первом случае основными силами и факторами формирования рельефа будут тектонические движения и вулканизм, являющийся составной частью магматизма. Тектогенез образует почти все крупные типы рельефа, мега- и макрорельеф — океаны и материки, горные сооружения и их составные элементы (хребты, впадины, плато, вплоть до небольших куполов). Средний рельеф, или мезорельеф, а также микрорельеф рождаются преимущественно экзогенными процессами, формирующими аккумулятивные и денудационные равнины, водоразделы, склоны и долины рек в горных районах, а также составные их элементы — ледники, конусы выноса, моренные, склоновые, аллювиальные и другие образования, поверхности, нарушенные оползнями, карстом, эоловой обработкой. Большое количество дополнительных типов и форм рельефа фиксируется на площадях вечной мерзлоты, аридных и прибрежных областях.

Очень большое разнообразие характерно для вулканического рельефа, рожденного выходом на поверхность лавовых излияний и туфовых выбросов. Базальтоидные излияния сформировали трапповые плато, крупнейшие из которых известны на севере Сибирской платформы, в Индостане, Южной Америке и Африке (плато Декан, Путторан, Карру и др.). Силикатные или кислые вулканические излияния зачастую образуют протяженные пояса, крупнейшими из которых являются Охотско-Чукотский, Восточно-Сихотэалинский, Андский и др., протягивающиеся на сотни и тысячи километров. Не менее протяженными являются подводные вулканические излияния срединноокеанских хребтов, которые местами выходят на поверхность в виде вулканических островов и вулканов. Одиночные вулканы в виде отдельных конусов известны и на материковых площадях.

Не меньшее разнообразие типов и форм рельефа характерно для экзогенных процессов, обусловленных работой моря, текучих и подземных вод, ледников, ветра. Они сформировали крупнейшие низменности (Амазонская, Западно-Сибирская и др.), расчленили рельеф в горных областях, заполнили осадками дно морей и Мирового океана. В пределах каждой из таких областей мы можем фиксировать речные долины, аккумулятивные депрессии, большое количество денудационных и аккумулятивных форм, изучением которых занимается не только геоморфология, а также динамическая и инженерная геологии. Важно подчеркнуть, что все экзогенные процессы можно разделить на денудацию, разрушающую верхнюю часть земной коры, и аккумуляцию — накопление принесенного материала.

Закономерности развития рельефа суши

Рассмотрим главные вопросы данной проблемы — формирование горного и равнинного рельефа на водоразделах, склонах и в речных долинах, рельефа побережий. Своеобразие в его формирование вносит климат, обуславливающий пустынный рельеф аридных зон, криогенный рельеф высоких приполярных широт, оледенения платформенных равнин. Частично эти вопросы затрагивались в динамической геологии.

Водоразделом принято называть линию и поверхность, разделяющую смежные речные бассейны. Они очень разнообразны по своим размерам

и структуре. В горных районах они орографически обычно четко выражены; могут совпадать с максимальными отметками или быть смещенными. Характеризуются небольшой шириной при большой своей протяженности. Наиболее обширные водоразделы характерны для плоскогорий. В рельефе платформенных равнин большую роль играют выровненные поверхности. Становление водоразделов знаменует обычно условия поднятий. Различают стадию зарождения рельефа и стадию морфологического становления.

Своеобразную проблему геоморфологии составляет расшифровка условий формирования пенепленов (дословно — почти равнина), которые образовались на месте древних гор. Наиболее полно она была охарактеризована В. Девисом (1889, 1902, 1922), который считал, что каждая эпоха горообразования заканчивалась уменьшением активности воздымания до его полного прекращения. Он даже разделял цикл горообразования на пять стадий: начало расчленения общего поднятия, быстрое развитие эрозии, сопровождаемое значительным расчленением рельефа. Третья стадия, знаменующая его зрелость, характеризуется началом снижения водоразделов, выполаживанием склонов и расширением долин. Далее идет дальнейшее нисходящее развитие рельефа, завершающееся полным его выравниванием. Примером такого случая может быть мелкосопочник или пенеплен Восточного (Центрального) Казахстана.

В иных условиях формируются поверхности выравнивания горных областей. Длительное существование перемещающихся водоразделов с преобладанием процессов денудации на них обуславливает своеобразное срезание этих динамических поверхностей. Такие выровненные поверхности получили название педилен; их образование происходит не в условиях обширной денудации по площади и снижения рельефа «сверху», а становится результатом бокового смещения склонов, которое формирует «предгорную лестницу». Процесс поверхностной денудации происходит в этом случае синхронно с развитием поднятий, воздыманиями. Учение о педиментах, начатое В. Пенком, впоследствии разрабатывалось учеными разных стран.

Более сложно развиваются речные долины. В продольном сечении в их разрезе устанавливается область эрозии, сменяемая площадью аккумуляции и формирования речных террас. Более детальные исследования позволяют различать исток реки, ее верхнее, среднее, нижнее течение и устье. Данная отметка называется базисом эрозии. Это действующая динамическая система, тесно связанная с общим развитием рельефа. Поперечное сечение речных долин позволяет устанавливать в их разрезе общую ступенчатость склонов и систему речных террас. По поводу их количества и условий происхождения обычно существуют разные взгляды. К числу наиболее обоснованных нужно отнести представления о скачкообразных эпизодичных воздыманиях, обусловленных понижением базиса эрозии. Причиной такого явления могут быть тектонические поднятия, снижение уровня Мирового океана, изменения объема гидросферы, океанических емкостей.

Разнообразные процессы развиваются на склонах. Условия общей денудации проявлены формированием ледников и моренных отложений в высокогорных районах, обвально-осыпных образований и конусов выноса в горных или наиболее крутых частях склонов, селевых, делювиальных, солифлюкционных, оползневых (деляпсивных) и других накоплений на разных их участках. Изучение склонов, занимающих наибольшие площади

в горных районах, имеет большое значение в связи с поисками различных полезных ископаемых, структурно-геоморфологических исследований.

Еще одним направлением изучения рельефа является геоморфология морского побережья. Основными рельефообразующими факторами здесь являются море и работа впадающих в него рек, а элементами рельефа — абразионный берег, пляжи (береговая терраса), а также лагуны, бары, косы и др. На формирование побережья оказывают взаимное воздействие суша и море. Водная среда преобразует рельеф в результате: 1) морских волнений, возникающих под воздействием постоянных и штормовых ветров; 2) морских течений, обусловленных температурным режимом водных масс; 3) приливно-отливных перемещений. Существенное значение в строении зоны побережий имеет биогенный фактор, особенно в низких широтах; здесь могут формироваться коралловые постройки, мшанковые банки, мангровые заросли и др. Суша является основным поставщиком обломочного материала, приносимого главным образом реками. Элементы рельефа здесь также зависят от геологического строения побережья.

При изучении рельефа суши важным направлением исследований следует считать выявление климатического фактора воздействия на рельеф. Главными типами и формами такого рельефа следует считать оледенение платформенных равнин (следы ледниковых покровов на севере Евразии и Америки), оледенение горных сооружений (хиносфера, или снежная сфера гор), криогенные формы рельефа высоких широт или геоморфологическая характеристика площадей вечной (многолетней, долговременной) мерзлоты. В первом случае выявляются озы, камы, друмлины, зандры, курчавые скалы или бараньи лбы, фиорды, а также локальная и региональная их зональность. В горах изучается рельеф ледниковых долин, типы ледников, динамика льда, формы ледниковой аккумуляции. Криолитозона требует выявления площади локального таяния, морозного трещинообразования, пучения и форм их проявления (термокарст, гидролакколиты, каменные глетчеры, курумы).

Рельеф аридных и гумидных областей низких широт также имеет свои отличия. В первом случае формируются песчаные и каменистые, солончаково-глинистые пустыни с такими формами рельефа, как барханы, дюны и др. Пустыни горных стран и районов характеризуются активным эоловым выдуванием, ячеистыми поверхностями, скульптурными столбами, «сухими водопадами» и другими каменными скульптурами. В гумидных областях предметом изучения являются коры выветривания, мангровые и другие заросли, останцовые горы. Для всех этих областей нужно четко фиксировать воздействие температуры и влажности, зональности по площади.

Рельеф морских площадей и океанов

В последние десятилетия активно стал изучаться рельеф морей и океанов, что связано не только с возросшими техническими возможностями исследований, но и интересом относительно использования полезных ископаемых шельфа. Общая характеристика океанических площадей уже давалась. Приведем здесь некоторую дополнительную информацию и остановимся лишь на ряде частных вопросов.

Континентальный склон океанов начинается ниже бровки или уступа шельфа. Его средняя крутизна колеблется от 5–7° до 15–20°; в районах

крупных формирующихся разрывов она резко возрастает. В ряде случаев он имеет ступенчатое строение, что обусловлено наличием сбросов. Секущие разрывы, располагающиеся вкрест простирания сбросовых ступеней, осложняют пограничные районы континентов и ложе океанов. На суше к ним часто относятся долины рек, а в пределах континентального склона — подводные каньоны; в их устьях на дне океана располагаются подводные конусы выноса. Континентальное подножье представляет собой зону сопряжения склона с ложем океанской впадины; именно на этом участке происходит наиболее существенное изменение строения земной коры. Такой тип строения характерен для так называемой пассивной окраины, примером которой является атлантическое побережье.

В пределах активных континентальных окраин существует своя система акватории: глубоководные впадины окраинных морей сменяются островодужными сооружениями, а далее — глубоководными желобами. Такой тип строения характерен для западной части Тихого океана. Обычно предполагается, что здесь океаническая земная кора погружается под материковую (зона субдукции). Активная или пассивная континентальная окраина определяет свой тип рельефа по окраинам континентов — горный для тихоокеанского побережья или сглаженный пассивный для атлантического.

Ложе Мирового океана располагается на глубине 2500—6000 м и занимает три четверти его площади. Рельеф его сложный. На дне океанов существуют отрицательные и положительные формы рельефа второго порядка, которые образуют основные неровности его ложа. Его отрицательным мегаформам соответствуют абиссальные равнины и котловины, периокеанские и окаймляющие равнины, а положительным — глобальная система рифтогенных срединных хребтов и других менее крупных возвышенностей различного генезиса. Геологическая природа подобных структур с точки зрения строения и происхождения пока еще остается недостаточно полно изученной. Различают также хребет срединноокеанский и океанский глыбовый. Примером последнего является хребет Ломоносова в Северном Ледовитом океане.

Геоморфологическое картирование

Одним из направлений изучения рельефа следует считать составление геоморфологических карт, осуществляемое в процессе специального картирования. Оно подразумевает полевые работы, составление сводных карт (масштаб 1:500000 и мельче); может базироваться на генерализации данных крупномасштабного картирования. Геоморфологическая карта включает изображение на топографической основе в определенном масштабе строения рельефа, которое состоит из его внешнего облика — морфографии, а также генезиса и возраста. В некоторых случаях на такие карты наносят четвертичные отложения, слагающие террасы, шлейфы, равнины. Для изображения указанных компонентов на карте прибегают к двух- и трехслойному наложению цветного фона, его оттенков, черных или цветных штриховок, сеток, крапа. В отличие от геологической карты, для которой методика использования цветов и штрихов унифицирована, в геоморфологии пока нет единого мнения, какой из основных компонентов считать главным, применяя для него цвет.

Согласно легенде ВСЕГЕИ и НИИГА (Ганешин, 1967; Ермолов, 1958; Спиридонова, 1952), цветом показывают генетически однородные поверхности преимущественно экзогенного происхождения. В зависимости от задач составляют геоморфологические карты общие (обзорные – масштаб менее 1:1000000 и съемочные – масштаб 1:100000 и крупнее), отражающие основные элементы – генезис, морфографию и возраст. Специальные карты включают такие их виды как морфометрические, прогностов, интенсивности дефляции, развития оползней, оврагов, эрозии почв, закарстованности, морфоструктурные, палеогеоморфологические, современных процессов рельефообразования, энергии рельефа и др. Все указанные разновидности карт принадлежат к типологическим и противопоставляются картам геоморфологического районирования.

Районирование предполагает разделение территории по неповторимым, обусловленным исключительно местными причинами особенностям рельефа, определяемого климатом, растительностью, строением фундамента и платформенного чехла, залеганием рыхлого покрова, деятельностью человека и др. Среди основных таксонометрических единиц предложено выделять провинции, области, районы. К числу трудноразрешимых вопросов геоморфологии следует отнести установление возраста денудационного рельефа, что определяет сложности составления палеогеоморфологических карт (карт основных этапов его развития). При составлении структурно-геоморфологических карт делается попытка анализа слабых или подвижных зон (линеаментов, зоны растяжения и др.). Такие работы сопровождаются составлением продольных и поперечных профилей, выделением различного рода кольцевых структур и др. Важной задачей составления всех этих карт является возможность использования их при поисках полезных ископаемых, инженерно-геологических, экологических и других исследований.

Особое внимание в последнее время уделяется использованию космической информации в структурно-геоморфологических исследованиях. Рельеф является одной из главных характеристик поверхности при изучении его дистанционными методами, так как его следует считать чутким индикатором геологического строения, природных и антропогенных процессов. Задачи таких исследований принято разделять на локальные, региональные и глобальные; при их проведении решаются три основных вопроса – морфометрия (геометрические характеристики рельефа), его возрастная характеристика, особенности развития во времени (историческая геоморфология) и генезис. Дешифрирование обычно ориентировано на анализ ландшафтной линейности, выявление новейших локальных поднятий, изучение рельефа зон активных разрывных нарушений.

Региональная геоморфология

Региональное направление геоморфологических исследований следует рассматривать как описание рельефа и условий его формирования для отдельных территорий – материков, провинций, стран. Рассмотрим его на примере Украины, которая характеризуется большим разнообразием типов и форм рельефа. Геоморфологические исследования на нашей территории имеют богатую историю. Среди основных исследований необходимо назвать работы П.А. Тутковского, Б.Л. Личкова, В.И. Крокоса, Н.И. Дмитриева, Д.Н. Соболева, В.Г. Бондарчука, В.В. Ризниченко, И.М. Рослого,

П. М. Цыся и др. Подготовлен также ряд учебных пособий по этому курсу. Общая схема геоморфологического районирования включает выделение горных областей (Украинские Карпаты, Горный Крым), ряд возвышенностей (Предкарпатская, Азово-Приднепровская, Донецкая, Волыно-Подольская, южные склоны Среднерусской) и низменностей (Приднепровская, Причерноморская, Приприпятская, Закарпатская).

В пределах Украинских Карпат выделяется ряд гор и горных хребтов (Верховинские, Гринявские, Чивчинские), Вулканический (Выгорлат-Гутинский) хребет или пояс и ряд более мелких элементов. Среднегорный рельеф (максимальная отметка 2061 м, гора Говерла) характеризуется хорошо разработанными речными долинами со следами горного оледенения, небольшими по размерам осыпными и обвальными образованиями; среди денудационных форм следует отметить поверхности выравнивания, а среди вулканических — сденудированные вулканические конусы центрального и трещинного типа, которые образуют как самостоятельный хребет, гряды, так и отдельные сопки. Рельеф Карпат начал формироваться в альпийскую эпоху горно-складчатых воздыманий.

Горный Крым состоит из трех хребтов — Главного, Внутреннего и Внешнего; максимальная его отметка 1545 м (гора Роман-Кош). Водно-эрозионные формы рельефа характеризуются интенсивным, иногда весьма резким расчленением (существование многочисленных каньонов). Карстовые формы рельефа являются типичными на пологих горных водоразделах — яйлах. Местами встречаются выразительные осыпи, оползни. Крымское горно-складчатое сооружение сформировалось в мезозое, а в эпоху альпийского орогенеза имело место сводовое воздымание региона. Об этом свидетельствуют практически горизонтально залегающие верхнеюрские и мел-палеогеновые отложения на дислоцированном нижнем мезозое.

Рельеф возвышенностей Украины не имеет столь резких различий в морфометрии; обычно отметки их лишь немного превышают 200 м. Каждая из них приурочена к различным структурно-тектоническим элементам — Украинскому щиту, Волыно-Подольской плите, Донецкому складчатому сооружению. Ряд рек или отдельных участков этих площадей имеют форму каньонов, а поверхности водоразделов — сденудированы (Каменные могилы Приазовья и др.). Для Подольской возвышенности характерны карстовые формы рельефа. В пределах Донбасса, Криворожья и в ряде других мест широко развиты техногенные формы рельефа.

Для низменных областей характерно преобладание аккумулятивных, а также водно-эрозионных форм рельефа. В долинах крупных рек здесь обычно насчитывается не менее десятка террас. Имеются формы рельефа, фиксирующие следы днепровского и московского ледников. Своеобразие Приднепровской низменности придает широкое распространение лёссовых пород, образующих свои формы рельефа (просадки, суффозия и др.). Оползневые формы рельефа имеют лишь локальное распространение; более широко на склоне развиты овраги, особенно многочисленные в местах активной техногенной деятельности.

Геоморфология берегов и акваторий Черного и Азовского морей достаточно хорошо изучена и характеризуется сложностью и многообразием форм. Впадина Азовского моря представлена мелководьем; максимальная глубина ее составляет 14 м. Черное море в морфоструктурном отношении

имеет все основные элементы глубоководных бассейнов океанического типа: шельф, материковый склон и ложе. Максимальная глубина его составляет 2245 м. С глубины около 200 м характерно сероводородное заражение бассейна. Берега морей представляют собой сложное сочетание участков с абразионным и аккумулятивным рельефом. Уникальной является Арабатская стрелка, разделяющая Азовское море и озеро Сиваш, а также разные по возрасту рифовые постройки Крыма. В прибрежной части широко развиты лиманы и лагуны, а также выходящие в море косы.

Таким образом, геоморфология Украины характеризуется присутствием практически всех основных типов и форм рельефа – денудационных, эрозионных, аккумулятивных, вулканогенных, а также сочетанием морских и континентальных, гумидных, аридных и нивальных условий их образования. На разных участках страны можно наблюдать процессы и формы рельефа, обусловленные деятельностью поверхностных и подземных вод, ледников и вулканов прошлого, моря, ветра, а также человека. Учитывая высокий уровень образования, включающий подготовку во многих вузах кадров географического, геологического и экологического профиля, такие условия представляют большой интерес для проведения учебных практик.

В заключение выполненного рассмотрения геоморфологии необходимо подчеркнуть, что в таком кратком изложении невозможно охарактеризовать данное обширное научное направление, сформировавшееся на границе геологических и географических интересов. По науке в целом и отдельным ее вопросам и направлениям существует обширная литература. Здесь лишь сделана попытка наметить общую ее структуру, которая по данным различных исследователей существенно отличается, затронуть некоторые интересные и для геологии вопросы, показать важность их решения.

13. ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ

Палеогеографией называется наука, изучающая физико-географические условия прошлого: распределение морей, океанов и континентов, рельеф суши и морского дна, климаты и закономерности их развития в пространстве и во времени. Географическое по своей сути научное направление, оно изучается геологическими методами и рассматривается обычно как составная часть исторической геологии. Среди основных методов палеогеографии необходимо назвать актуализм: прошлые физико-географические условия (климатические, орографические, геоморфологические и др.) расшифровываются по аналогии и с позиции современного их проявления и развития.

Литолого-стратиграфические методы позволяют восстанавливать природные обстановки определенных участков и регионов для тех или иных интервалов времени. Изучение палеонтологических остатков позволяет устанавливать климаты и палеогеографические обстановки (морские, континентальные, аридные, гумидные и т. д.). Вместе с тем, интересы геологии и географии в этой пограничной науке обычно бывают разными, для чего достаточно сравнить соответствующий учебно-справочный материал, подготовленный специалистами того или иного профиля. В предлагаемом справочнике акцент будет сделан на тех вопросах и проблемах, которыми географы владеют не в полной мере, но которые интересны им.

Первые систематизированные представления о палеогеографии, или географии прошлых геологических, развивавшиеся в XVII–XVIII ст., возникли в рамках геологии или, точнее, естествознания. Уже М.В. Ломоносов в своей работе «О слоях земных» (1763) употреблял термин «древняя география». В XIX ст. палеогеография развивается как составная часть исторической геологии (Ч. Лайель, А.П. Карпинский и др.). Большую роль в формировании этой науки играло изучение древних оледенений (Ж.Л. Агассис, Ж. Шарпантье, П.А. Кропоткин и др.), а также начало составления специальных палеогеографических карт, на которых первоначально показывалось лишь положение древней суши и моря. С последней трети XIX ст. начинается изучение геосинклиналей и горообразования в истории земной коры, что представляло интерес не только для геотектоники, но и для палеогеографии.

С начала XX ст. палеогеография оформляется как самостоятельная наука. Следует подчеркнуть, что именно палеогеографический анализ послужил первым научным обоснованием теории дрейфа материков, заложившей начало мобилизма (Ф.Б. Тейлор, А. Вегенер, Дю Тойт). В середине столетия важную роль для этой науки сыграло формирование литологии, составной частью которой было выявление палеогеографических условий накопления тех или иных осадочных толщ и комплексов, а с последней трети века — движение литосферных плит, определявших образование соответствующих материков и океанов и, в частности, место их прошлого размещения. Географическое направление данной науки делает главный акцент на условия формирования современного рельефа и изучение четвертичного оледенения.

Климаты и оледенения геологической истории

Климаты Земли и климатическая зональность (изучение климатических поясов, микроклиматов, климатообразующих факторов) являются одним из основных вопросов физической географии. Однако климаты меняются не только в пространстве, но и во времени, что обязывает географию обращаться к выяснению прошлых событий. Их изучением занимается палеоклиматология, или наука о древних климатах, которая входит в состав палеогеографии. Вместе с тем, физико-географические условия прошлого являются важным направлением историко-геологических исследований. В данном случае геологию больше интересует не размещение климатической зональности по площади, а характер проявления климатов во времени (периодичность повторения определенных обстановок, причина такого явления, другие палеоклиматические закономерности).

О климатах прошедших эпох судят главным образом по составу сформировавшихся в то время отложений, наличию своеобразных пород-индикаторов, а также содержащихся в них палеонтологических остатков. Так, образование хлоридных солей, гипсов и красноцветных песчано-глинистых пород происходило в засушливых условиях (в геологии такие климаты принято называть аридными), а накопление углей – во влажной, или гумидной обстановке. Карбонатные породы являются обычно признаком теплого климата и морских обстановок. Соответственно, находки древних ледниковых отложений, или ископаемой морены (подобные плохо сортированные валунно-глинистые образования получили названия тиллитов) – показатель холодного приполярного климата. Не менее важную информацию о физико-географических обстановках прошлого дают ископаемые растительные остатки, которые также могут подтверждать засушливые, влажные или холодные условия времени их произрастания и захоронения, а также некоторые животные (например, кораллы, проживающие в обстановке теплых морей, куда почти не поступал обломочный материал).

В фанерозойской геологической истории выделяется несколько эпох продолжительностью в десятки миллионов лет, в течение которых на больших континентальных площадях преобладали засушливые или наоборот – влажные условия. Примерами первого случая можно считать раннедевонскую и позднерурскую эпохи, пермский и триасовый периоды. И наоборот, временем обширных гумидных, или влажных климатов были середина каменноугольного и юрского периодов, раннемеловая эпоха. В какие-то интервалы времени на Земле соседствовали ярко выраженные влажные и засушливые обстановки. Так, к середине пермского периода относятся крупнейшие за всю историю накопления солей и углей. В целом же для второй половины фанерозоя характерно чередование глобальных эпох с резко выраженной аридизацией и гумидизацией, средняя продолжительность которых составляет порядка 25 млн лет.

Среди главных климатообразующих факторов прошлого были сокращения или разрастания морских площадей, а также характер преобладающих рельефов. Морские и прибрежные условия, как это мы можем наблюдать и сейчас, обуславливают повышение влажности, снижают контраст температурных перепадов. Резкое расчленение рельефов, сопровождавшееся частым чередованием высокогорных областей и морских бассейнов, приводило к увлажнению климата. И наоборот, нивелирование или выравнива-

ние рельефа, существование обширных мало расчлененных приподнятых площадей сопровождалось аридизацией климата. Следовательно, климаты прошлого несут определенную информацию и о существовавших в то время рельефах. Появление крупных материковых массивов в полярных районах становилось причиной климатических похолоданий. Вспомним, что и сейчас Антарктиду нередко называют «кухней погоды».

Гляциология, или наука о ледниках и оледенениях начала формироваться лишь с XIX ст. Это было время открытия Антарктиды, знакомства с Гренландией, Северным Ледовитым океаном. Особый интерес вызывали оледенения прошлого. Под этим названием понимается процесс обширного распространения на континентах материковых льдов. Еще в первой трети XIX ст. возможность такого явления отрицалась. Однако по результатам изучения четвертичного оледенения и, в частности, объяснения причин появления крупных валунов на Восточно-Европейской равнине такие представления утвердились. Позднее было доказано позднепалеозойское оледенение, следы которого обнаружены в приэкваториальных районах, и другие, более древние. Среди исследователей, внесших наибольший вклад в эту науку, необходимо назвать В.М. Севергина (1815), И. Венец-Зиттена (1821), Ж.Л. Агассица, Ж. Шарпантье, Д. Гиндаля (1860), П.А. Кропоткина (1876) и др.

Общие сведения о наиболее значительных и достаточно хорошо изученных оледенениях приведены в табл. 5. Попробуем охарактеризовать их подробнее и, главное, разобраться в тех причинах, что обуславливают такое явление, рождают его.

Таблица 5. Данные об оледенениях прошлого

Название оледенения, время его проявления	Распространение и другие сведения
Четвертичное (позднекайнозойское) 15 млн лет – ныне	Формирование обширных материковых льдов в Антарктиде (15 млн лет), образование в четвертичном периоде ледниковых покровов на севере Евразии и Америки
Гондванское (позднепалеозойское) 325–250 млн лет назад	Обширное оледенение в пределах Гондваны; следы его известны в Африке, Индии, Южной Америке, Австралии. Совпадает по времени с герцинским горообразованием и существованием материка Пангея
Африканское (поздний ордовик–силур) 480–440, возможно, до 400 млн лет	Следы зафиксированы в Африке (Алжир, Сахара), Европе (Испания, Англия), Южной Америке. Совпадает с раннекаледонским орогенезом
Лапландское (варангерское, ранневендское) 670–640 млн лет	Наиболее обширное по площади проявления. Следы его известны в Европе (в том числе в Украине), Китае, Австралии, Африке. Завершает ледниковую эру позднего протерозоя
Позднепротерозойская эра, включающая конголезское (950–870 млн лет), австралийско-китайское оледенения с возрастом 800–700 млн лет и др.	Следы этих оледенений известны в Африке, Австралии, Китае
Гуронское (позднеархейское) около 2,3 млрд лет	Наиболее древнее из известных оледенений. Названо по оз. Гурон (Канадский щит), где обнаружены его следы

Из числа наиболее известных и детально изученных древних оледенений необходимо назвать гондванское, или позднепалеозойское, следы которого известны на всех материках южного полушария – в Африке (Танзания, ЮАР, Эфиопия), Южной Америке (бассейн Параны, Анды), Антарктиде, Австралии, а также Индостане, Индокитае (Соляной Кряж, Сикким, Непал, Бирма, Таиланд, Малайзия, Бутан), возможно, в Сибири. Кстати, свое название оно получило по названиям племени гондов и района Вана в Индии. Следы этого оледенения были выявлены еще во второй половине XIX ст., и именно они позволили обосновать представления о древнем материке Гондвана, а затем идеи мобилизма. Оно проявлено находками тиллитов, штрихованных скал, бараньих лбов. Достоверно начало оледенения устанавливается уже в раннем карбоне, иногда уточняется, что в визейском веке (Австралия, Южная Америка). Максимального развития оно достигает в позднем карбоне и первой половине ранней перми. Предполагается, что оно не было строго одновозрастным во всех районах своего проявления. В течение этого ледникового периода, продолжавшегося 75–80 млн лет, известны отдельные более кратковременные этапы похолодания в 10–35 млн лет, а также время сокращения и наступания ледника. Так, в бассейне р. Параны их насчитывается до 12, а мощность тиллитов достигает 1000 м.

Наиболее продолжительной была позднепротерозойская ледниковая эра, развивавшаяся в интервале времени 950–640 млн лет назад. В ее составе выделяется конголезское (950–870 млн лет), серия самостоятельных региональных оледенений, зафиксированных в Австралии и Китае в интервале времени 800–700 млн лет. Как самостоятельное в составе этой эры выделяется лапландское (по названию Лапландии – исторической области в Скандинавии), называемое также варангерским, позднедокембрийским, инфракембрийским или даже всемирным. Оно развивалось в интервале времени 670–640 млн лет назад и считается одним из наиболее обширных по площади. Кроме Европы следы его известны также в Австралии и Китае. С завершением этого оледенения начинается заметное потепление, которое сопровождается появлением высокоорганизованного животного мира – так называемой эдиакарской, или вендской фауны, которая сменилась затем фанерозойским этапом развития органического мира.

Наиболее древним считается гуронское оледенение (по озеру Гурон на Канадском щите), возраст которого определяется в 2,3 млрд лет. Оно фиксируется наличием тиллитов в основании верхней серии Кобальт гуронского комплекса. Данное оледенение известно только в одном регионе, и о характере его проявления мало что известно. Интересно, что по времени своего проявления оно совпадает с формированием крупнейших железорудных скоплений Земли, известных в Криворожье, на Курской магнитной аномалии, Балтийском и Канадском щитах, других регионах. Это позволило появиться гипотезе о том, что подобные накопления железа стали не только результатом жизнедеятельности железобактерий в своеобразных геохимических обстановках того времени, а прежде всего – встречи нашей планеты с мощным поясом железных метеоритов.

Полнее всего изучено самое молодое четвертичное (антропогенное) оледенение, следы которого известны на больших площадях. Оно является продолжением позднекайнозойского похолодания, первые следы которого фиксируются в Антарктиде примерно 40 млн лет назад. Более выразитель-

ным оно стало 15–10 млн лет назад и проявлено уже в глобальном масштабе, о чем свидетельствует характер изучения органических остатков в разных районах Мирового океана. 3–5 млн лет назад появляются следы материкового оледенения в северном полушарии, активизировавшегося 2–1,5 млн лет назад. В собственно четвертичный период, или 0,8 млн лет назад начинается обширное оледенение в северных районах Евразии и Америки. Оно началось формированием крупных ледниковых масс в пределах Балтийского и Канадского щитов, Таймыра, других районов севера, откуда по долинам крупных рек они перемещались далеко на юг. Следы одного из таких ледниковых языков, названного днепровским, достигали в Украине наших широт. В составе плейстоценового оледенения специалисты насчитывают сейчас до 6–8 отдельных похолоданий, продолжавшихся в среднем 100 тыс. лет, чередующихся с более кратковременными потеплениями. Последнее потепление началось 15–10 тыс. лет назад.

Ученых и все человечество очень интересуют не только причины оледенений, но и как будут развиваться дальнейшие климатические изменения на Земле. Ведь четвертичное оледенение еще не завершилось; оно лишь отступило, приостановилось, сменилось кратковременным потеплением ледникового периода. Геология и география принимают самое активное участие в таких исследованиях. Появление наиболее значительных оледенений 950, 660, 325 и 15 млн лет назад, как это явствует из таблицы, привело к представлениям о периодичности такого явления и даже космическим причинам похолодания. Некоторые исследователи увязывали такую периодичность в 300 млн лет с продолжительностью галактического года (порядка 250 млн лет по последним представлениям) и даже пробовали выделять на этом основании по аналогии с земными своеобразные «времена космического года».

Однако основной причиной формирования ледников и накопления морен на обширных материковых площадях должны были быть не столько гипотетические планетарные похолодания, сколько размещение крупных материковых массивов в полярных районах Земли. В позднем палеозое на Южном полюсе размещалась Гондвана, а в позднем кайнозое Антарктида. Вместе с тем, космический фактор не исключается, подтверждением чего может быть совпадение гуронского оледенения с формированием железистых кварцитов предположительно метеоритного происхождения. Резкое потепление 10 тыс. лет назад началось после интенсивного космического воздействия (метеориты, образование тектитового пояса на востоке Азии); начало и завершение гондванского и позднекайнозойских похолоданий совпадает с интенсивной космической бомбардировкой, что подтверждает такие представления. Вместе с тем, основная роль космоса сводится к эпизодически проявленным сменам геодинамических режимов в развитии литосферы, своеобразным структурно-геологическим перестройкам, которые рассматривались в разделе «Геотектоника».

Материки и океаны прошлого

Существующие ныне материки и океаны не всегда были такими и располагались на том же месте. Нынешние материковые площади объединялись друг с другом, многократно раскалывались и расходились в разных направлениях, размещались иногда совсем в других местах. Такое

явление получило название «дрейф континентов». Представления о таком явлении или дрейфе формулировались уже в первой трети XX ст. (Тейлор, 1910; А. Вегенер, 1912, 1915; Дю Тойт, 1935). На месте большинства современных складчатых сооружений располагались древние океаны. Изучение этого процесса базируется на представлениях о литосферных плитах, которые являются сейчас господствующими. Кстати, и плиты в древней истории были иными, отличающимися от современных. Из числа наиболее известных материков прошлого необходимо назвать Гондвану, Пангею, Лавразию, а также океаны Тетис, Япетус, Урало-Монгольский.

Гондвана (от названия племени и района в Индии) представляет собой древний гипотетичный материк, включавший нынешнюю Африку, Южную Америку, Индостан, Австралию, Антарктиду. Он существовал в течение почти всего палеозоя, а также в первой половине мезозоя. Со второй половины мезозойской эры начался распад этого суперматерика; на месте расколов сформировался Индийский океан и южная часть Атлантики. Одной из интереснейших особенностей Гондваны можно считать обширное позднепалеозойское оледенение в его пределах, что объясняют сейчас прохождением этой материковой площади в то время через район Южного полюса. Долгое время она была отделена океаном от северных материков, и здесь сформировалась своеобразная, так называемая гондванская, или глоссоптериевая флора. Определенная флористическая дифференциация наблюдается и сейчас (эвкалипты Австралии, мамонтовые деревья Южной Америки и др.).

Лавразия (от Лавренции – древнего названия Канадского щита и Азии) представляла собой материк, сравнительно недолго существовавший на месте континентальной части Северной Америки и Евразии. Он был образован в результате ликвидации, или закрытия в среднем палеозое (400–325 млн лет) древнего океана Северной Атлантики и формирования здесь горно-складчатых сооружений, названных каледонскими, или каледонидами. Горные сооружения на первой стадии своего формирования были окружены лагунными и континентальными бассейнами, где в условиях жаркого засушливого климата накапливались песчано-глинистые породы красных цветов. Эти красноцветы получили название олдред (англ. – «древний красный»), а прилежащие материковые площади – Красного континента. Материк этот протягивался до западных окраин Украины, где также можно наблюдать данные красноцветные отложения. Следует подчеркнуть, что именно во время существования Лавразии начался активный выход на земную поверхность растений, а затем развитие земноводных и пресмыкающихся (амфибий и рептилий).

В позднем палеозое (325–250 млн лет) все основные континентальные площади были объединены в общий материк, получивший название Пангея; дословно это означает «общая Земля». Он занимал весьма обширную площадь, протягиваясь от Южного полюса до приполярных районов Арктики. На востоке Пангеи существовал ряд глубоко вдававшихся в материк заливов, один из которых протягивался до Донбасса и далее на запад, а второй до нынешнего Кавказа и частично до Альп. По подсчетам Р. Дица и Дж. Холдена (1974), этот единый материк занимал около 40 % поверхности Земли, что близко к современной картине распределения суши и моря, но суша почти вдвое превышала нынешнюю.

Гондванская часть Пангеи, как уже говорилось ранее, была покрыта обширными ледниками. Среди других особенностей времени существования Пангеи необходимо отметить наиболее активное за всю историю Земли угленакопление; в течение этого времени сформировалась почти половина мировых запасов углей. В конце палеозоя или в середине пермского периода одновременно с весьма активным угленакоплением в азиатской его части происходило формирование солей в обширных внутриматериковых морях и лагунах нынешней Европы и Северной Америки. Такой палеогеографический парадокс (одновременное существование противоположных климатов — влажных и засушливых) может быть объяснен резко расчлененным рельефом Пангеи. Времени существования этого материка отвечает проявление обширного и, вероятно, самого выразительного горообразования, получившего название герцинского. Горные сооружения этого возраста протягивались по линии Урал—Кавказ—Карпаты—Центральная Европа—Южные Аппалачи, фиксирующей место схождения соответствующих литосферных плит того времени.

Интересно, что такое явление — соединение материков воедино — имело место и в другие, более давние интервалы геологической истории. Подобный единый материк существовал и в позднем докембрии (Пангея Е по Ирвингу). Его существование предполагается также в среднем протерозое, во время крупнейшей кратонизации на Земле, проявленной в интервале времени 1,9—1,65 млрд лет назад. Тогда на обширных площадях сформировались жесткие консолидированные участки земной коры, которые составили фундамент последующих платформ. Этот материк называют иногда Пангея-1, чтобы отличать от более молодого позднепалеозойского.

Среди других, менее известных материков нужно назвать Ангариду, или Ангарскую сушу, существовавшую на месте Сибирской платформы. Этот гипотетический материк был выделен Э. Зюссом и назван по р. Ангара. В раннем палеозое эта площадь представляла собой систему островов или периодически формировавшуюся сушу. Как самостоятельный материк Ангариды существовала в среднем палеозое, будучи ограниченной Урало-Монгольским, Арктическим и Тихим океанами. От китайской материковой суши ее отделял узкий пролив, или своеобразная рифтовая зона, расположенная на месте Монголо-Охотской области. В позднем палеозое эта площадь с запада и юга была отделена от остальной части Пангеи горно-складчатыми сооружениями Урало-Монгольского пояса, а с севера и востока — Арктическим и Верхоянским морским бассейнами. И хотя как самостоятельный материк она в это время прекратила свое существование, горное ее ограждение обусловило палеогеографическую самостоятельность. Здесь, в частности, формировалась своеобразная ангарская, или тунгусская флора. Частично условия изоляции сохранялись и в раннем мезозое.

Из океанов прошлого наиболее изученным, длительно и сложно развивавшимся был Тетис, когда-то разделявший суперматерики Гондвану и Лавразию. Его площадь примерно отвечает наиболее возвышенным горно-складчатым сооружениям, протягивающимся от северного побережья Средиземного моря до Юго-Восточной Азии. Контуров этого океана не оставались постоянными. Первые морские бассейны на его месте существовали уже в докембрии, а наиболее выразительным он был в среднем палеозое (океан этого времени обычно называют Палеотетисом).

В позднем палеозое западная часть Тетиса закрылась, и на его месте сформировались герциниды Европы. Он стал заливом Пангеи, а восточная его часть протягивалась через Китай и Японию до Сихотэ-Алиня и даже до Корякского нагорья (судя по находкам там так называемой тетической фауны). В раннем мезозое океан Тетис вновь разделял Гондвану и Лавразию. В отдельные этапы этой истории его ширина достигала 4000 км. В позднем мелу осевая часть Тетиса располагалась по линии Динариды–Кипр–Малый Кавказ, где фиксируются следы соответствующей океанической коры. Сравнительно недавно, примерно 25–15 млн лет назад, некогда обширный и длительно существовавший океан превратился в систему внутриматериковых морей и заливов, в числе которых Средиземное, Черное, Каспийское. Примерно 15 млн лет назад морские бассейны северной окраины Тетиса (они получили наименование Паратетиса) исчезли, оставив достаточно мощные толщи солей в Прикарпатье и Закарпатье. Ликвидация, или закрытие океана стало следствием схождения литосферных плит Евразии, Африки, Индостана–Австралии.

Еще одним крупным океаном прошлого был Урало-Монгольский, располагавшийся на месте одноименных горно-складчатых палеозойских сооружений. Начало его формирования относят к середине ордовика. В это время он соединился с океаническим бассейном северной Атлантики, а на юго-востоке протягивался до Тихого океана. Иногда данный океан разделяют на два самостоятельных – Уральский и Центральноазиатский. Максимального размера он достиг в среднем палеозое, что по времени совпало с закрытием океана на севере Атлантики (Япетуса). Ширина Уральской части данного океана достигала 1800–2500 км, а наиболее узким он был в Монголо-Охотской своей части. Закрытие Урало-Монгольского океана произошло в позднем палеозое, и на его месте сформировались герцинские горно-складчатые сооружения Урала, Тянь-Шаня, Монголии, Забайкалья.

В позднем докембрии и раннем палеозое (примерно 630–400 млн лет назад) на месте Северной Атлантики существовал океан Япетус, или Палеоатлантика. Он соединился на севере с Урало-Монгольским океаном, а на юго-западе разделял Северную Америку и Гондвану. В его составе принято выделять Грампианскую, Северо-Аппалачскую, Мексиканско-Аппалачскую и другие зоны, или самостоятельные геосинклинали. Закрытие Япетуса произошло в среднем палеозое. На его месте сформировались горно-складчатые сооружения каледонид. Начавшееся в середине мезозоя расхождение литосферных плит Северной Америки и Евразии обусловило заложение здесь нового океана, который составляет сейчас северную часть Атлантического и частично наследует Япетус. Южная Атлантика начала формироваться с конца мезозоя, с мелового периода.

В начале мезозоя в пределах Западной Сибири сформировалась одна из крупнейших рифтовых систем субмеридиональной ориентировки. На северо-востоке эти расколы тянулись через Таймыр и Чукотскую систему, а на юге пересекали герциниды Средиземноморского пояса и уходили к восточной окраине Африки. Однако этот рифтогенез не перерос в типичный океаногенез, а завершился образованием платформенной Западно-Сибирской депрессии, или плиты. В.В. Белоусов образно называл сформировавшуюся структуру «неудавшимся океаном» (хотя для

него даже предлагалось свое название – Палеообский). Возможно, что южным продолжением одного из этих рифтов стал Мозамбикский пролив, отделяющий Мадагаскар от Африки. В таком случае можно предполагать, что именно раннемезозойский рифтогенез обусловил начало заложения Индийского океана, активное формирование которого продолжилось в середине мезозоя.

Тихий океан рассматривается обычно как остаток древнейшей океанической площади, оставшейся со времени существования Пангеи. Определенный интерес представляет маловероятная гипотеза об импактном (ударном) происхождении этой акватории, являющейся остатком гигантского метеоритного кратера. Океан окружен мезозойскими и кайнозойскими, частично позднепалеозойскими горно-складчатыми сооружениями, что свидетельствует о надвигании на него окружающих материковых структур. Однако более древние, чем верхнеюрские, отложения в его пределах, как правило, не обнаруживаются. Восточно-Тихоокеанский хребет входит в систему мировых срединно-океанических хребтов. Западные районы Тихого океана рассматриваются обычно как классический пример активной континентальной окраины, где происходит субдукция, или поддвижение океанической плиты под материковую, что сопровождается формированием островных дуг, глубоководных впадин, окраинно-континентальных морей.

Общая схема существования во времени древних материков и океанов показана в табл. 6. На ней четко видна взаимосвязанность процесса их формирования, когда заложение одних океанов или материков совпадает с ликвидацией других. Второй особенностью их развития можно считать

Таблица 6. Развитие главных структурных элементов земной коры

Период (начало этапа, млн лет)		Материки				Океаны				Горообразование
		Гондвана	Лавразия	Пангея	Евразия	Тетис	Урало-Монгольский	Япетус	Сев. Атлантика, Сев. Ледовитый	
13	KZ ₂									А
167	MZ ₂ – KZ ₁									MZ
245	MZ ₁									
325	PZ ₃									Г
400	PZ ₂									К
570	PZ ₁									
	PR									С

Примечание. Заштриховано время существования материков и океанов. Буквами обозначено время горообразования: альпийского (А), мезозойского (МЗ), герцинского (Г), каледонского (К), салаирского (С)

определенную пространственную взаимосвязанность, при которой новые океаны имеют тенденцию закладываться на месте ранее существовавших, а материковые площади наращивают древние материки или наоборот — могут раскалываться с образованием новых. Наконец, перемещение литосферных плит в пространстве создает еще один своеобразный палеогеографический эффект: место размещения нынешних главных структур земной коры не совпадает с тем, где располагались их предшественники.

Сокращение и возрастание морских площадей

Интересным результатом палеогеографического анализа является возможность устанавливать практически непрерывное сокращение или возрастание морских площадей на территориях нынешних материков. Такое явление легко фиксируется по результатам фашиально-формационного состава отложений определенного возраста. Это позволило сформулировать представления о трансгрессиях и регрессиях, геократических, когда преобладали континентальные условия, и талассократических эпохах или этапах геологической истории. При кажущейся простоте изучения этого явления и высоком уровне региональной геологической изученности земной поверхности единых, а иногда и сколько-нибудь близких представлений по этому вопросу нет. Нет также единого мнения и о природе данного явления.

Н.М. Страхов (1950) по результатам своего историко-геологического анализа пришел к выводу, что с конца альгонка и до настоящего времени в развитии Земли имело место проявление 12–13 крупных трансгрессий морского осадконакопления, сменявшихся более кратковременными регрессиями. Ю.М. Малиновский (1982) выделял в фанерозое уже вдвое больше глобальных трансгрессий с периодичностью их проявления в 22 млн лет. Более детальные региональные исследования позволяют резко увеличить их количество. Так, в девоне Европы и Америки выделяется в настоящее время 14 трансгрессивно-регрессивных циклов, в Северо-Западной Европе — 30 циклов, в позднем палеозое Западной Европы, Урала, Восточно-Европейской платформы и Северной Америки — 50 трансгрессий и регрессий. Соответственно, в кайнозое Новой Зеландии устанавливается 23 цикла, в антропогене Японии, Индонезии, Индии более 15 морских трансгрессий. Глобальное прослеживание и межрегиональная корреляция всех подобных перемещений границ суши и моря затруднительна или просто невозможна.

Более обоснованным может быть установление интервалов времени, в течение которых происходило значительное разрастание морских площадей (талассо-, или океанократические этапы, эпохи, периоды) или их сокращение. Такая периодичность устанавливается по результатам изучения морских и континентальных площадей в пределах современных материков и отрицать ее невозможно. В фанерозое могут быть выделены следующие основные талассократические этапы: 1) раннепалеозойский с тремя основными циклами, в течение которого площадь занятых морем континентов составляла 80–90 %, а уровень Мирового океана значительно превосходил современный; 2) среднепалеозойский (средний девон—башкирский век), в течение которого занятая морем площадь составляла

60–90 %; 3) позднемезозойский или среднеюрско-меловой, когда площадь морей на континентах занимала 50–60 %, а уровень моря значительно превосходил современный. Именно к меловому периоду относится одна из крупнейших трансгрессий фанерозоя.

Главными геократическими этапами были раннедевонский, позднекаменноугольный, позднепермско-триасовый, позднеюрский, неогеновый. Продолжительность соответствующих эпох и периодов, как правило, меньше талассократических, хотя все они неоднородны, и в те или иные моменты фиксируются более кратковременные трансгрессии и регрессии. Обычно перечисленные выше геократические этапы связывают с началом проявления определенных орогенезов – каледонского, герцинского, индосинийского, киммерийского, альпийского.

Природа трансгрессий и регрессий понимается более или менее одинаково. Среди главных обуславливающих их причин могут быть: 1) эвстатические движения, вызванные изменением уровня Мирового океана за счет возрастания или уменьшения объема его воды; например, таяние льдов Антарктиды в состоянии повысить уровень нынешних морей почти на 150 м; 2) перемещение литосферных плит, способных изменить емкость океанических бассейнов. Кроме таких глобальных существует большое количество местных или региональных причин, когда колебательные тектонические движения могут вызвать опускания или поднятия отдельных участков суши.

Изучение площадей трансгрессий и регрессий позволяет устанавливать одновозрастность отдельных разрастаний морских площадей с сокращением их в других местах. В свое время Г.Э. Ог обосновал положение, названное впоследствии законом его имени, по которому горообразование в геосинклинальной области совпадает по времени с трансгрессиями на прилежащих платформах. А.Л. Яншин пришел к выводу, что глобальный характер проявления трансгрессий и регрессий не может быть доказан. Уже позднее было обосновано положение о палеогеографических перераспределениях, при которых разрастание морских площадей в какой-то части земного шара может сопровождаться их сокращением в другой, совпадать с ними по времени. Примеров такого явления может быть приведено очень много, и оно должно трактоваться как более общая палеогеографическая закономерность. Вместе с тем такие перераспределения не исключают существования гео- и талассократических эпох, глобальных трансгрессий и регрессий.

Геосинклинали и горообразование

Во второй половине XIX ст. американские исследователи Дж. Холл и Дж. Дэна установили, что большинство горно-складчатых сооружений формируется на месте ранее длительно существовавших морских бассейнов, в которых накопились мощные толщи осадочных и вулканических пород. Такие морские депрессии или даже тектонические структуры стали называться геосинклиналями, а сформированные на их месте горно-складчатые сооружения – геосинклинальными. Данная группа тектонических структур противопоставлялась платформам – тем материковым площадям, что потеряли свою подвижность и обычно имели в основании кристаллический фундамент.

При изучении геосинклиналей, которые трактовались как историко-геологическое понятие, определенную сложность вызывало установление их современных аналогов. Ученые долго спорили, какие из нынешних морских бассейнов могут быть геосинклиналями. Данное учение о геосинклиналях активно развивалось в первой половине XX ст. В связи с формированием представлений о литосферных плитах стал понятен механизм процесса. Геосинклиналями стали называть те бассейны и зоны вдоль окраины литосферных плит, которые в результате их схождения превращались в горно-складчатые сооружения. Соответственно, раскол литосферной плиты и формирование на его месте крупного грабена (рифта) могли со временем перерасти в морской и океанический бассейн, превратиться в геосинклиналь. Подобный процесс происходит сейчас на месте рифта Красного моря и других рифтовых зон Средиземного моря, которые со временем могут стать геосинклиналью, океаническим бассейном, соединяющим Индийский и Атлантический океаны.

Таким образом, современной геосинклиналью может быть и Атлантический океан, и система морских бассейнов вдоль западной окраины Тихого океана, и многие другие подвижные зоны Земли. Примерами небольших бассейнов, развивающихся по схеме геосинклинали, могут быть моря и заливы, существовавшие на месте Донбасса, Горного Крыма, Юго-Восточного Памира. В связи с развитием учения о литосферных плитах интерес к геосинклиналям ослаб, однако их изучение пока не прекратилось. На материалах таких исследований было установлено, что процесс геосинклинального прогибания в одних тектонических системах совпадал с горообразованием в других. Например, процесс раскрытия Атлантического океана во второй половине мезозоя строго соответствует времени горообразования вдоль окраин Тихого океана. Это тот случай, когда палеогеографические данные подтверждают схему развития литосферных плит. А появившаяся боязнь использования термина «геосинклиналь», обвинение в «фиксизме» использовавшего его специалиста граничит с геологическим невежеством.

В связи с изучением геосинклиналей и сформировавшихся на их месте складчатых сооружений в геологии были обоснованы представления о геотектонических циклах — интервалах времени и совокупности процессов от начала геосинклинальных прогибаний до завершения здесь горообразования. Они уже рассматривались нами в геотектонике. В числе наиболее детально изученных были каледонский, герцинский, мезозойский (индосинийский, киммерийский) и ныне продолжающийся альпийский циклы. В каждом цикле выделяется геосинклинальная и горообразовательная (орогенная) стадии. Выявление таких циклов и, в частности, возраста складчатых сооружений лежит в основе составления тектонических карт, на которых цветом показано время горообразования соответствующих тектонических структур. Интересно, что продолжительность основных наиболее детально изученных циклов фанерозоя является одинаковой, что позволяет говорить о периодичности или даже строгой ритмичности обуславливающих их причин.

Подобно тому, как многие геосинклинали и места схождения литосферных плит имеют большую протяженность и разное строение, они могут быть разделены на отличающиеся по своей структуре и времени развития

участки, в пределах которых возникают складчатые сооружения, группирующиеся в отдельные пояса, области, системы. Так, в Средиземноморском горно-складчатом поясе выделяются Европейская, Альпийская, Карпатская, Кавказская, Гималайская и другие области. В Тихоокеанском поясе, окружающем Тихий океан, выделяются Верхояно-Чукотская, Сихотэ-Алинская, Японская, Кордильерская области и т. д. Обычно каждая из таких областей испытывает горообразование в определенный этап геологической истории. Такие этапы горообразования, или орогенезы, получили собственные названия по месту своего наиболее яркого проявления — каледонский на Британских островах, герцинский в центре Европы (зона Гарца), киммерийский в Крыму, альпийский в Альпах.

Более древние докембрийские горообразования менее детально изучены и зачастую не имеют единых наименований. Они не могут быть датированы столь же точно, как фанерозойские. Среди наиболее известных орогенезов этого времени можно назвать салаирский, байкальский, гренадский. В целом же в докембрии может насчитываться несколько десятков циклов и горообразований, которые имеют примерно такую же продолжительность, как фанерозойские.

Учение о своеобразных морских бассейнах (геосинклиналях) и последующем горообразовании на их месте, о геотектонических циклах было и остается весьма продуктивным историко-геологическим и палеогеографическим направлением исследований, показывающим пространственно-временные закономерности формирования основных тектонических структур и групп рельефа. Вместе с тем, они позволяют делать прогнозы того, как будут развиваться подобные процессы в далеком будущем. В комплексе с учением о литосферных плитах это направление можно определять как наиболее информативное и перспективное.

14. ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ

Полезное ископаемое — это природное вещественно-минеральное образование или скопление в земной коре, которое после извлечения может быть использовано в каком-либо производстве или для непосредственного употребления. Им может быть руда, строительный камень, поваренная (каменная) соль, песок и глина для производства кирпича, нефть и горючий газ и т. д. Полезным ископаемым такие минеральные соединения могут становиться лишь в том случае, если они образуют достаточные по масштабам скопления, которые принято называть месторождениями. Непременными условиями месторождения, кроме достаточных запасов, должно быть определенное качество и содержание полезного компонента в руде, а также условия разработки, которые могут быть признаны технически возможными и экономически оправданными.

Геология как наука и в определенном отношении теоретическая часть одного из направлений горного дела развивалась как система знаний о форме залегания в недрах полезных ископаемых, что обеспечивало выяснение условий их образования, поиски, оценку и разработку. В настоящее время учение о полезных ископаемых стало самостоятельным крупным направлением геологии, которое включает такие разделы или самостоятельные науки, как геология нефти и газа, геология горючих полезных ископаемых, геология рудных и нерудных полезных ископаемых. В качестве обобщающей науки в XX ст. оформилась металлогения, изучающая условия образования, размещения и приемлемую для разработки концентрацию тех или иных используемых природных соединений. Дословно металлогения переводится как наука о рождении металлов, но часто она понимается более широко: включает изучение и нерудных полезных ископаемых (например, говорят об агрохимических и других рудах, заменяя иногда термин названием «минерагения»).

Классифицирование полезных ископаемых

Многообразии полезных ископаемых (ПИ), возможность делить их по условиям происхождения, использования, физическому состоянию и другим признакам сделало необходимым создание разных схем их группирования. В природе эти образования могут быть в газообразном, жидком (нефть, питьевые и минеральные воды) или твердом состоянии; последние составляют подавляющее их большинство. По происхождению полезные ископаемые разделяются на осадочные, магматические и метаморфические; то есть на те же группы, что и образующие или включающие их минералы и горные породы. Наконец, по использованию эти природные скопления могут быть сгруппированы в рудные, нерудные и горючие, или энергетические полезные ископаемые с последующим более дробным их разделением.

Осадочные полезные ископаемые включают, вероятно, наибольшее скопление природных соединений, которые используются человеком. Среди них широко распространены глины, пески и известняки, которые идут на изготовление кирпича, цемента, стекла, керамики. Осадочное происхождение имеют горючие полезные ископаемые: уголь, нефть и газ, горючие сланцы, торф, а также каменная, калийная и другие соли, фосфориты. К осадочным образованиям относятся скопления некоторых рудных

полезных ископаемых, в том числе алюминиевые, марганцевые, железные, урановые и другие руды. Известняки, наиболее плотные песчаники и другие осадочные породы могут использоваться как строительный материал, сырье для химической, металлургической, сельскохозяйственной и других видов промышленности.

Ряд рудных и нерудных полезных ископаемых может образовывать россыпи — природные скопления минерала в виде мелких зерен среди песчано-глинистых отложений. Такой способностью обладают золото, платина, серебро, алмаз, оловянный камень (касситерит), минералы ртути, вольфрама и титана. Россыпные месторождения также относятся к группе осадочных. Условно к этой же группе могут быть отнесены месторождения кор выветривания — природные скопления, в которых в результате процессов химического выветривания происходит естественное обогащение вмещающих пород каким-то компонентом. Это могут быть либо рудные образования (бокситы, латериты), либо нерудные (например, каолин).

Магматические полезные ископаемые также достаточно разнообразны. Многие изверженные горные породы непосредственно используются как строительный камень (граниты, лабрадориты, различные туфы и эффузивы). В некоторых интрузивных породах могут содержаться промышленные скопления каких-либо рудных или нерудных ископаемых — минералов хрома, титана, различных редких и рассеянных элементов, например, апатита, используемого для извлечения фосфора. Особенно большое количество рудных компонентов формируется в результате деятельности гидротермальных растворов в постагматических процессах, которые сопровождают или завершают магматизм. К ним относится большинство полиметаллов (руды свинца, цинка и др.), многие цветные металлы, в том числе медь, кобальт.

Следует напомнить, что именно в результате гидротермального процесса, или работы горячих подземных вод, образуются наиболее красивые друзы кварца, кальцита, различных самоцветов, которые сами по себе также являются полезными ископаемыми. Крупные рудные скопления железа, меди, вольфрама, молибдена, полиметаллов, серебра и олова образуются на границе, или на контакте карбонатных пород с внедрившимися магматическими телами; сформировавшиеся в таких условиях наборы пород называются скарнами, а соответствующие месторождения — скарновыми. Наконец, месторождения полезных ископаемых образуются и непосредственно во время процессов вулканизма, в том числе скопления золота и серебра, минералов ртути; хорошо известны продукты вулканической возгонки серы и непосредственно используемые как строительный материал продукты вулканических выбросов — пористые сцементированные туфы, игнимбриты.

Процессы метаморфизма также рожают достаточно большое разнообразие метаморфических полезных ископаемых. Среди специфических образований данного типа необходимо назвать графит, тальк, различные слюды, гранаты. Железистые кварциты Криворожья и многих других месторождений, медные руды Удокана (БАМ), такой оксид алюминия, как корунд и его разновидности — сапфир и рубин, а также ряд других аналогичных минеральных скоплений являются полезными ископаемыми метаморфического происхождения. Наконец, метаморфические породы

могут непосредственно использоваться как строительный материал, камень для изготовления щебня, абразивное сырье, облицовочный камень. Достаточно вспомнить такую распространенную, многообразную по своим рисункам и красивую метаморфическую породу, как мрамор, который применяют для облицовки внутренних помещений.

При поисках и разведке полезных ископаемых, определении их значимости и важности важное значение также имеет группирование их по характеру использования. Такая промышленная или промысловая систематика месторождений полезных ископаемых приведена ниже. Их, как уже отмечалось ранее, разделяют на три основные группы: рудные, нерудные и горючие.

Промышленная систематика месторождений полезных ископаемых

(по Н. Ермакову, с изменениями)

Металлические ПИ:

- руды черных металлов (железа, титана, хрома, марганца);
- руды цветных металлов (меди, цинка, свинца, никеля);
- руды легких металлов (алюминия, лития, магния, бериллия);
- благородные металлы (золото, серебро, платина, осмий, иридий);
- руды радиоактивных металлов (урана, радия, тория);
- руды редких металлов (вольфрама, молибдена, олова, кобальта, ртути, бора, циркония, ниобия, тантала);
- руды редкоземельных и рассеянных металлов (лантана, церия, гольдония и др., а также скандия, гафния, германия, рубидия, индия и др.).

Неметаллические ПИ:

- металлургическое нерудное сырье – карбонатные породы (известняк, доломит), флюорит, или плавиковый шпат, нефелин, кварцит, графит;
- химическое сырье – поваренная соль, карбонатные породы (известняк, писчий мел), сера, сульфиды (серный колчедан и др.), флюорит, барит, целестин;
- агрохимическое сырье – апатит, фосфорит, калийные соли, селитра, глауконит;
- строительные материалы – камень для производства щебня, облицовочный камень (мрамор, гранит, лабрадорит, кварцит, песчаник), вяжущие материалы и сырье для производства цемента (мергель, известняк, глина, гипс), минеральные краски, стекольно-керамическое сырье (стекольные пески, каолины), кислотоупоры и сырье для каменного литья;
- поделочные и драгоценные камни (агаты, опалы, обсидиан, халцедон, яшма, родонит, малахит, селенит, янтарь и др., а также алмаз, изумруд, топаз, аметист, рубин, alexandrit, аквамарин, сапфир, топаз и др.);
- техническое и пьезооптическое сырье – абразивы (алмаз, корунд, топаз, гранаты), пьезокристаллы и оптические минералы (кварц, турмалин, флюорит, исландский шпат), теплоизоляторы и электротехническое сырье (графит, асбест, тальк, мусковит и др.);

Горючие ПИ (топливно-энергетическое сырье):

- твердые (торф, бурый и каменный уголь, антрацит, горючие сланцы, озокерит, сапропелит);
- жидкие и газообразные (нефть, конденсат, горючие газы);

Подземные воды, газы, лечебные грязи:

- питьевые и технические воды,
- минеральные (бальнеологические) лечебные воды,
- нефтяные воды с бромом, иодом, радием и др.,
- термальные воды,
- подземные и озерные рассолы,
- лечебные грязи и илы,
- негорючие инертные газы (гелий, аргон и др.).

Рудные полезные ископаемые включают те природные компоненты или руды, из которых извлекают металлы. Они, как было показано в приводимой ранее схеме систематики, разделяются на руды черных металлов, содержащие железо, марганец, титан, хром, цветных (медь, никель, свинец, цинк), благородные металлы, в числе которых хорошо известные золото, серебро и платина, а также руды редких, рассеянных и редкоземельных элементов. По своему происхождению рудные полезные ископаемые, как уже отмечалось ранее, могут быть изверженными, осадочными и метаморфическими; в природе они могут встречаться в виде руд или самородных металлов.

Нерудные полезные ископаемые имеют главным образом осадочное происхождение. По характеру использования их разделяют на строительные материалы (строительный камень, песчано-глинистое сырье для производства кирпича), сырье для использования в химическом производстве (карбонатные породы, различные соли), для производства удобрений (фосфориты, апатиты, калийные соли). Нерудные полезные ископаемые широко используются также в металлургии (различные карбонатные и другие добавки для плавления руды, получившие название флюсов), в пищевой промышленности для очистки различных продуктов, в медицине. Кварцевые пески являются основным компонентом для производства стекла, а каолиновые глины для получения керамики (фарфор, фаянс, черепица).

Горючие полезные ископаемые включают такие хорошо известные природные соединения как уголь (каменный и бурый), нефть, горючий газ. Это основное в настоящее время энергетическое сырье; причем запасы двух последних его видов, наиболее широко используемых в технике и быту, являются в природе ограниченными. Угольный голод не грозит человечеству в ближайшем столетии, но добыча угля является трудоемким и дорогостоящим процессом. Достаточно широко для местных энергетических потребностей используются торф и горючие сланцы. Учитывая что развитие человеческого общества и промышленного производства тесно связано с решением энергетических проблем, такие природные возможности должны быть хорошо известны и изучены.

Закономерности образования и размещения ПИ

Закономерности размещения полезных ископаемых, формы рудных тел и условия их накопления и нахождения в недрах являются предметом такой науки, как металлогения. Знания об условиях их формирования и размещения обязательны для прогнозирования перспектив определенных площадей, а форма тел полезных ископаемых, которые будут изучаться и разрабатываться, являются необходимой предпосылкой для организации рациональных поисково-разведочных работ и рекомендаций по их

разработке. Структуры рудных полей и месторождений, формы образуемых такими скоплениями геологических тел, типы нефтегазовых ловушек и сформировавшихся в них залежей, а также ряд других вопросов изучают соответствующие разделы геологии полезных ископаемых.

Осадочные полезные ископаемые имеют обычно те же формы, что и вмещающие их отложения. Угли и соли, известняки, пески и глины образуют разной мощности слои, пласты и горизонты, чередующиеся с другими вмещающими их осадочными породами. Поскольку каждое из этих нужных для человека природных скоплений образуется только в определенных, свойственных ему условиях (морские, континентальные или прибрежно-лагунные обстановки), сам стратиграфический разрез каких-то районов и выявление обстановок формирования изучаемых отложений позволяет предполагать, что в них может быть найдено. Угли могут концентрироваться в прибрежных или континентальных болотных отложениях, при накоплении их во влажном климате и при обилии сохранившейся растительной органики, а соли и гипсы – в засушливых обстановках (аридном климате). В типичных нормальных морских условиях происходит накопление известняков, фосфоритов, глауконитовых пород.

Выявление закономерностей формирования и размещения осадочных полезных ископаемых происходит на основании анализа геологического строения месторождений и палеогеографических обстановок времени их образования на больших площадях. Например, в Европе и Северной Америке время максимального угленакопления относится к середине карбона, в Азии и Австралии – к середине перми, а на северо-востоке Азии к поздней юре–раннему мелу. Другая закономерность: в Европе и Северной Америке середине пермского периода соответствует наиболее активное соленакопление. Следовательно, отложения определенного возраста каких-то регионов уже по этим данным могут оцениваться как перспективные на те или иные полезные ископаемые.

При прогнозировании и поисках жидких и газообразных полезных ископаемых исходят из положения, что они относятся к водоносным горизонтам, а наиболее крупные скопления нефти и газа образуются, если продуктивные горизонты перекрыты достаточно мощными и повсеместно развитыми водоупорами (их в геологии называют «покрышками»). Нефть и газ как более легкие, чем вода, компоненты гидросферы, размещаются в верхних частях водоносных горизонтов, непосредственно под водоупором.

Намного сложнее предполагать условия образования, а также закономерности размещения магматических, метаморфических, гидротермальных и других рудных тел, устанавливать их форму. Поскольку рудные скопления обычно соответствуют зонам разрывных нарушений, контактам или границам магматических тел и вмещающих осадочных отложений, в геологии принято отыскивать или прогнозировать такие «благоприятные» для рудообразования зоны. Об их форме может свидетельствовать изучение тектоники или структурно-геологических условий района; такое положение обычно устанавливается в результате составления или анализа геологических карт разного масштаба. Определенные сложности возникают и при изучении кор выветривания, содержащих иногда скопления интересных рудных и нерудных элементов, а также в тех случаях, когда месторождения осадочных полезных ископаемых сильно осложнены тектоническими

нарушениями (крутые углы падения или многочисленные разломы в угольных пластах, смятия в пластах соли и т. д.).

Данные о закономерностях размещения полезных ископаемых являются очень важной геологической информацией и, конечно же, не ограничиваются приведенными здесь случаями. Однако эта информация интересна тем, что показывает, какие вопросы должна решать геология при изучении полезных ископаемых. Именно знания условий формирования и закономерностей размещения лежали в основе прогноза и поисков алмазов в Сибири, открытия месторождений нефти и газа в Днепровско-Донецкой впадине и Западной Сибири, работах на шельфе Северного и Каспийского морей. Подобные прогнозно-металлогенические данные используются сейчас при оценке перспектив золотоносности и алмазности Украины, прогнозировании объемов и мест скопления железомарганцевых конкреций Мирового океана.

Научные основы анализа и прогнозирования (металлогения)

Данное направление исследований связано с оформлением металлогении как науки. Понятие о металлогенических эпохах и провинциях ввел Лакруа (1911). Однако современное понимание этой науки было сформулировано Л. де Лоне в его монографии «Трактат о металлогении» (1913). Это совпало по времени с активными исследованиями многих зарубежных исследователей (П. Ниггли, В. Эммонс, Ф. Тюрнор и др.), составлением металлогенических схем и карт полезных ископаемых. Среди отечественных специалистов первыми металлогенические схемы разрабатывались В.А. Обручевым, А.Е. Ферсманом, С.С. Смирновым, А.И. Заварицким. Наиболее полные и глубокие исследования в этой области выполнялись Ю.А. Билибиным, Е.Т. Шаталовым, В.И. Смирновым и др. С конца 1950-х г. в стране начались активные работы в этой области, регулярно проводились Всесоюзные металлогенические совещания. Эти же проблемы выносятся на Международные геологические конгрессы.

Основными задачами металлогенических исследований являются: 1) выявление закономерностей формирования и размещения рудоносных площадей и рудных месторождений в пространстве и во времени; 2) изучение критериев связи оруденения со всем комплексом геологических причин, влияющих на процессы минерализации; 3) систематизация и изучение типовых особенностей рудоносных площадей; 4) прогнозирование новых рудоносных площадей и объектов. Следует подчеркнуть, что применительно к складчатым сооружениям такие построения базировались на основании глубокого анализа геосинклинального процесса, условий развития его в пространстве и во времени. Именно в этом плане строились представления Ю.А. Билибина (1947, 1955) и других исследователей. Развивались взгляды о типах геосинклиналей, структуре складчатых сооружений, формировании этого процесса во времени. Большое значение имела разработка металлогенической терминологии (Е.Т. Шаталов, 1964), попытка связывать оруденение с теми или иными геотектоническими гипотезами (батолитовая, пульсационная, магматическая специализации, вмещающие металлы).

Металлогения платформенных площадей строилась на базе анализа особенностей строения и развития метаморфического комплекса фундамента,

а также изучения процессов последующего магматизма на платформенном этапе (тектоно-магматическая активизация) или осадочного чехла этих структур. Утверждение идей новой глобальной тектоники нашло отражение в попытках применить их к расшифровке условий рудообразования. А. Ковалевым было введено понятие о «мобиристской металлогении», хотя каких-то принципиально новых положений для металлогении тектоника литосферных плит не внесла.

Региональные металлогенические построения сводились в основном к расшифровке главных рудоконтролирующих факторов, в числе которых были магматизм, литологические особенности вмещающих пород, структурные факторы и глубина эрозионного среза. Магматические тела могли либо быть непосредственным полезным ископаемым, либо иметь парагенетическую связь с рудами в пространстве и во времени, либо проявляться в форме отдаленной энергетической связи с магматизмом (стратиформные и др. месторождения). Литологические факторы контроля можно считать наиболее наглядными, что проявляется локализацией оруденения в определенных породах (скарны в известняках и др.). Структурные факторы наиболее сложны и многообразны. Обычно это проявляется в форме соответствия оруденения тем или иным разрывным, иногда складчатым структурам. Наконец, характер оруденения может определяться глубиной эрозионного среза; лучшей иллюстрацией такого положения может быть величина вскрытия вулканического жерла.

С развитием металлогении оформилось понятие о рудных формациях. Под таким термином, по Р.М. Константинову (1965), понимается группа месторождений с минеральными ассоциациями сходного состава, которые повторяются в определенной последовательности на всех местах ее скопления и образуются в сходных геологических условиях независимо от времени рождения. Примерами таких формаций является пегматитовая, грейзеновая, скарновая и др. Обычно название таких образований дается по ведущим рудным минералам или металлам (кварц-касситеритовая, медно-молибденовая и т. д.). Кроме эндогенных выделяют и экзогенные рудные формации, каковыми являются марганценовые, железорудные, бокситоносные, соленосные, формации пластовых платформенных фосфоритов, океанических конкреций и др.

Наконец, задачей металлогении является составление металлогенических и прогнозных карт — обзорных или карт рудных районов. Составляются они обычно на геологической или тектонической основе; их задача — наглядно показать все закономерности размещения рудоносных площадей, рудных месторождений и всех проявлений минерализации в связи с метаморфизмом и различными факторами — тектоническими, литологическими, магматическими. Первая карта такого типа была опубликована Л. де Лоне (1906). В отличие от карты полезных ископаемых, металлогеническая карта должна не просто содержать всю информацию об известных на определенной площади скоплениях рудных компонентов, но и показать их структурно-генетическую связь с другими факторами рудообразования. С середины 60-х гг. XX в. металлогенические карты стали обособлять от прогнозных. Последние должны показывать пока еще не выявленные рудоносные площади и месторождения. Все эти карты могут и должны составляться в разных масштабах; они могут также быть общими

и специализированными, построенными для платформенных и складчатых областей, для определенных металлов.

Поиски и разведка ПИ

Поисково-разведочные работы составляют наиболее важную и дорогостоящую часть производственной геологической деятельности; в ней участвуют разные организации и разные специалисты. Обычно это длительное мероприятие; от первых общих или даже конкретных прогнозов до подготовки месторождения к эксплуатации иногда проходят десятилетия. Поэтому открытие месторождения и начало его разработки — это большой труд, длительный период деятельности и заслуга нескольких коллективов, а также результат геологических знаний, специальных исследований и работ.

Существует определенная строгая последовательность в выполнении поисковых работ, явная их стадийность. Она начинается с общих про-гнозов, которые делают уже на стадии составления первых геологических карт. Знания о геологическом строении тех или иных площадей, данные о существовании здесь, в соседних районах или в аналогичных условиях других регионов каких-то полезных ископаемых позволяют выполнять начальную стадию прогнозирования. Например, находки якутских алмазов базировались на сходстве геологического строения Сибирской платформы с Африканской, где такие месторождения уже были известны. Поискам нефти и газа в Днепровско-Донецкой впадине предшествовал анализ геологического строения этой территории, установление в ее пределах мощных соленосных отложений—покрышек, соляных куполов и ряд других благоприятных прогнозных показателей. По данным такого изучения могут не только обосновываться перспективы, но составляться прогнозные ресурсы некоторых полезных ископаемых — ориентировочные данные относительно ожидаемого количества запасов.

Благоприятные предпосылки и промышленная необходимость в определенном виде полезных ископаемых могут стать основой для проведения их поисков. Существуют различные виды поисковых работ. Общие поиски обычно сопровождают геолого-съёмочные или другие картосоставительские работы; анализ геологического строения и полученные предварительные результаты поисковых исследований могут быть основанием для проведения детальных поисков определенных полезных ископаемых, выделения наиболее подходящих для этого площадей. Если общие поиски имеют целью выявить набор возможных на изучаемой площади полезных ископаемых, то детальные поиски ориентируют на изучение каких-то конкретных их проявлений.

По результатам благоприятных поисковых работ выделяют площади для проведения геологической разведки. Поисково-разведочные работы сопровождаются, как правило, проходкой горных выработок — шурфов, канав и скважин, которые позволяют вскрыть изучаемое рудное тело и произвести отбор из него проб на различного рода химические, спектральные, технологические и другие анализы. Результатом таких работ является оконтуривание рудных тел, получение информации о содержании в нем нужного компонента, данных о запасах, установленных с той или иной степенью достоверности.

Последней стадией поисково-разведочных работ является подсчет запасов в пределах изученной части будущих месторождений или наращивание их в пределах уже разрабатываемого объекта. Их проведению предшествует составление технико-экономического обоснования (ТЭО) таких работ, а завершаются работы получением данных о подсчитанных запасах и их утверждением специальными комиссиями. Проведение подсчета запасов выполняется по строгим инструкциям, которые предусматривают достаточную детальность изучения и обоснованность расчетов. Данные о запасах утверждаются специальными территориальными региональными или государственными комиссиями (ТКЗ, ГКЗ) и передаются в ту организацию, которая будет осуществлять разработку полезных ископаемых. При подсчете запасов оцениваются горно-геологические условия эксплуатации, рекомендуется определенный наиболее рациональный способ их добычи – открытый или закрытый, подземный (шахты, штольни, скважины).

Необходимо подчеркнуть, что концентрация тех или иных компонентов, которые могут считаться полезными и планируются к добыче, встречается в природе в самой разной степени. Чтобы подобные скопления стали месторождениями, они должны содержать такое количество нужных компонентов, чтобы их разработка была экономически целесообразной или оправданной. Поэтому подсчету запасов предшествует разработка кондиций (условий), при которых добыча будет оправдана. Кондиции включают данные об общем количестве (запасах) элементов, средних содержаниях, тех глубинах, на которых разработка месторождений может считаться рациональной. Если существуют достаточно крупные их скопления и благоприятные условия разработки или большая потребность в таком сырье, месторождение вводится в эксплуатацию. В отдельных случаях даже при больших запасах и высоких содержаниях их добыча может стать нерентабельной или невыгодной из-за сложных горно-геологических условий разработки или по другим причинам (помехи подземных вод, неравномерное содержание полезного компонента в руде и др.).

Таким образом, представления о закономерностях размещения, а также данные поисков и разведки полезных ископаемых включают понятия о прогнозных ресурсах и запасах. Под прогноznыми ресурсами понимается вероятная или ожидаемая масса полезного ископаемого в пределах каких-то площадей – в контурах существующего месторождения, ожидаемого месторождения или крупных рудоносных территорий. Такие ресурсы определяются по данным о геологическом строении, без оконтуривания рудных или других тел, без повсеместного определения содержания полезного компонента.

Запасы полезных ископаемых устанавливаются по данным разведочных работ в определенных единицах измерения: тонны, килограммы, караты для алмазов, метры кубические для строительных материалов или горючего газа. Их разделяют на две основные группы: балансовые запасы, которые пригодны в настоящее время для разработки, и забалансовые, которые по тем или иным причинам пока не годятся для этой цели. Такими причинами могут быть сложные горно-геологические условия разработки месторождения (обводненность, недостаточная устойчивость недр при строительстве шахт), большая глубина разработки, отсутствие рациональных и рентабельных методов извлечения полезного компонента из руд или методики их

переработки. Они могут быть вовлечены в эксплуатацию вполедствии, при изменившихся условиях или требованиях промышленности к полезному ископаемому.

Методы и условия разработки месторождений ПИ

Разработка (добыча, эксплуатация) месторождений полезных ископаемых — это крупная отрасль промышленности или даже деятельности человека, которая получила название горного дела. Знание условий разработки является весьма важным для геологии вопросом, так как зачастую определяет возможность или экономическую целесообразность использования того или иного природного скопления, требует проведения специальных технических или экологических мероприятий. Учитывая огромные масштабы извлечения полезных ископаемых из недр и производимые в связи с этим нарушения или ущерб окружающей среде, а также большие материальные затраты в связи с этим, выбор методов разработки, который обычно предлагается геологами, является весьма ответственным решением.

Различают открытый и закрытый способ добычи или эксплуатации месторождения. Первый из них включает разработку полезного ископаемого с помощью карьеров или специальной выемки, глубина которой может составлять от первых метров до нескольких сотен. Полезное ископаемое извлекают отсюда экскаваторами и доставляют к месту использования или переработки различным транспортом. Иногда извлечения камня или плотных руд требует предварительных буровзрывных работ. Преимуществом открытого способа разработки является относительная дешевизна добычи и более высокая полнота извлечения нужного сырья. Однако он может использоваться лишь в случае относительно неглубокого залегания разрабатываемого полезного ископаемого.

Вместе с тем, карьерный, или открытый способ разработки имеет свои недостатки. Из обращения выводятся иногда большие площади земли; извлекаемые попутно непродуктивные породы (их называют вскрышей или отвалами) также занимают много места, вызывая при этом запыление местности. Поэтому современные методы открытой разработки полезного ископаемого предусматривают предварительное снятие плодородного почвенного слоя и перемещение отвалов в уже отработанную часть карьера. Затем сюда возвращают почву, и площадь вновь может использоваться в сельском хозяйстве, для лесопосадок или иных целей. Такие мероприятия называются рекультивацией, или восстановлением нарушенных при разработке площадей.

Среди закрытых, или подземных методов разработки наибольшее распространение получили шахты. Суть такой добычи заключается в строительстве достаточно глубокого вертикального отверстия (шахтного ствола), от которого расходятся горизонтальные эксплуатационные выемки. Преимуществом шахтного способа добычи является возможность извлекать полезное ископаемое с очень больших глубин; например, многие шахты Донбасса превышают 1 км. К числу недостатков такого вида подземной разработки должны быть отнесены следующие: обычно высокая стоимость выполняемых работ; невозможность полного извлечения ископаемого (значительная его часть остается в недрах в так называемых

предохранительных целиках); наконец, работа в шахтах, как мы хорошо знаем, сопряжена с опасностью для шахтеров.

Жидкие и газообразные полезные ископаемые извлекают посредством скважин — буровых выработок с обычно небольшим диаметром. При помощи таких выработок производится разработка месторождений нефти, газа, подземных вод. На поверхность извлекаемое жидкое или газообразное полезное ископаемое поступает через сами отверстия эксплуатационных скважин, а затем оно подключается к газо- или нефтепроводам. Скважины могут проникать на большую глубину в недра; например, в Днепровско-Донецкой впадине четверть эксплуатируемых месторождений природного газа превышает 4,5 км. При помощи скважин могут разрабатываться и некоторые твердые полезные ископаемые. Так, каменная соль у нас зачастую добывается путем закачки в недра воды и последующего извлечения рассолов (район Славянска в Донбассе, Лихачево в Харьковской области и др.). При проведении буровых разведочных и эксплуатационных работ важно строго выдерживать определенные условия их проведения, не допускать невидимых нарушений в недрах (например, засоление пресных водоносных горизонтов) и потери полезного ископаемого при таком методе добычи.

Представления об условиях разработки полезного ископаемого необходимы не только для планирования условий их извлечения, но и для знания тех возможных нарушений, которые могут сопровождать этот вид работ. В числе важных показателей проведения горно-эксплуатационных работ — полнота извлечения полезного ископаемого. Не менее ответственным мероприятием является недопущение вредных нарушений в недрах (сохранность подземных вод, устойчивость земной поверхности). Наконец, строительством эксплуатационных горных выработок (карьеров, шахт, скважин) является достаточно длительной операцией, что также нужно учитывать, планируя соответствующее горное производство с учетом необходимости получения нужного полезного ископаемого.

Мировые минеральные ресурсы

Изучение полезных ископаемых включает не только поиски, разведку и рациональную разработку месторождений, но и общую оценку минеральных ресурсов как для определенных площадей, так и в мировом масштабе. Такие исследования необходимы для выбора альтернативного сырья, в случае исчерпания какого-то его вида, возможной его замены, а также разработки общей стратегии данного направления природопользования. Тенденцией нынешней геологии и горного дела является переход от использования наиболее богатых по содержанию руд и разработки залегающих близко от поверхности полезных ископаемых к добыче более бедных, а также сложных по условиям их эксплуатации. Принципиально новым явлением последних десятилетий становится активное использование месторождений на шельфе и планирование разработки месторождений в глубинах океанов.

Минеральными ресурсами называют какое-то количество полезных ископаемых в недрах района, страны, континента или мира в целом, устанавливаемое на базе общих геологических представлений о строении тех или иных площадей и определенных расчетов. Их подсчеты базируются на общих соображениях и аналогиях, предположениях, что здесь будут

такие же условия и количество ресурсов, как на уже разведанных площадях. Понятия о ресурсах используются как для характеристики возобновляемых запасов подземных и поверхностных вод, так и для минерального сырья. Важная роль такого направления исследований позволяет в последнее время называть его ресурсологией и выделять в самостоятельное научное направление (А.Н. Истомин и др.). Попробуем кратко охарактеризовать лишь несколько наиболее важных видов мирового минерального сырья.

Топливные ресурсы сосредоточены в угольных (их количество – около 3600) и нефтегазоносных (более 600) бассейнах. Эти полезные ископаемые связаны с осадочным чехлом земной коры и размещаются обычно в краевых прогибах и молодых платформах. Угольные ресурсы определяются сейчас цифрой в 14810 млрд т, из которых 60 % приходится на каменный уголь, а остальная часть – на бурый. Разведанные запасы этого сырья составляют лишь 8 %. Значительная их часть сосредоточена в 10 крупнейших бассейнах, из которых 6 находится в России. К этой же десятке относится и Донецкий бассейн. Добывают уголь в 60 странах мира, но преимущественно – в Китае, США, России, Польше, Германии, Австралии. Используют его не только как непосредственно топливо, но и в металлургии, химической промышленности. Этим топливом и сырьем, если сохранятся нынешние темпы добычи, человечество может быть обеспечено на несколько столетий.

Главные нефтегазовые ресурсы сосредоточены в Азии, Северной Америке, Африке. Важнейшую роль среди них играют месторождения-гиганты, которых в мире насчитывается около 20, однако они содержат более 70 % всех мировых запасов. Среди главных нефтегазоносных бассейнов нужно назвать Западно-Сибирский, Волго-Уральский (Россия), Калифорнийский, Техасский, Иллинойский, Аляскинский, Примексиканский (США), бассейны Персидского залива (они включают 2/3 разведанных мировых запасов нефти), Североморский (Норвегия, Великобритания), Сахарский, Гвинейского залива, Оринокский и Маракайбский (Венесуэла). Наибольшие запасы нефти имеют Саудовская Аравия (35,2 млрд т), Ирак, Кувейт, Иран, ОАЭ (по 12–13 млрд т), Венесуэла, страны СНГ, Мексика, США (3,1 млрд т), Ливия. Главные запасы природного газа сосредоточены в России (24,1 трлн куб. м), Иране (21), Катаре (6,7), Саудовской Аравии (5,2), США (5), Венесуэле, ОАЭ, Ираке, Либерии, Мексике (2 трлн куб. м).

Железные руды являются основой металлургии, поэтому их добыча имеет давнюю историю. Железо относится к числу наиболее распространенных элементов земной коры и образует многочисленные месторождения разных генетических типов. Их наибольшие скопления связаны с кристаллическими породами в фундаменте платформ. Среди стран, богатых на железную руду, нужно назвать Россию (КМА, Урал, Западный Саян), Украину, Китай, Индию, Бразилию, ЮАР, Алжир, Ливию, Мавританию, Либерию, США, Канаду, Австралию, Францию, Швецию. Общегеологические мировые запасы железной руды составляют 400 млрд т, разведанные запасы – 150 млрд т.

Цветная металлургия использует для получения соответствующего металла медные, оловянные, алюминиевые и другие руды, запасы и геологические закономерности распространения которых разнообразны и иногда достаточно сложны. Главными странами, где добывают руду и экспортируют

медь, являются Чили, Заир, Замбия, Перу, Филиппины, Россия, а главными импортерами — США, Германия, Франция, Италия, Великобритания. «Оловянный пояс», или место размещения месторождений руд олова тяготеет к Тихоокеанскому побережью и охватывает такие страны, как Россия, Корея, Китай, Лаос, Вьетнам, Таиланд, Малайзия, Индонезия. Крупные месторождения оловянных руд имеются также в Австралии, Боливии, Нигерии. Главной особенностью медных и оловянных руд является низкое содержание в них металла (чаще всего 0,5–1 %). Более 70 % всей добычи бокситов, являющихся главной рудой алюминия, приходится на Австралию, Гвинею и Ямайку. Значительные по запасам месторождения имеются в таких странах, как Франция, Италия, Греция, Венгрия, Гана, Камерун, Гаити, Суринам, Россия, Китай. Следует заметить, что алюминий можно извлекать и из многих других пород, в том числе из бокситов, некоторых силикатных пород, поэтому обеспеченность этими ресурсами может считаться вполне удовлетворительной.

Среди других видов минерального сырья, потребность в котором будет возрастать в будущем, нужно назвать калийные соли, а также фосфориты и апатиты. Их главный потребитель — агрохимический сектор хозяйства, поэтому аналогичное название имеет и данное минеральное сырье. Значительные запасы калийных солей имеет Россия (Березники, Соликамск в Предуралье), апатитов и фосфоритов — США, Россия, Вьетнам, ЮАР, Алжир, Тунис, Марокко, Того, Египет, Иордания. Главной проблемой этого сырья следует считать не только сравнительно ограниченные по запасам скопления, но и сложные условия разработки, что можно наблюдать на примере хибинских апатитов и предуральских калийных солей.

Следует подчеркнуть не только неравномерное по площади размещение минерального сырья, но и специализацию определенных регионов и структур на тех или иных полезных ископаемых. Ранее речь шла о металлогеническом своеобразии Тихоокеанского подвижного пояса. К числу минеральных ресурсов и полезных ископаемых относят также алмазы и золото, 96 и 76 % которых добывают в Африке. Роль этого материка велика и в добыче других полезных ископаемых; отсюда поступает 68 % кобальтовых руд, 67 % хромитов, 57 % марганцевых руд, 35 % урановых, 31 % фосфоритов, 24 % медных руд. Еще одним примером такой неравномерности могут быть некоторые полезные ископаемые Украины, в пределах которой сосредоточены большие запасы железных и марганцевых руд, каменной соли, серы, графита, каолинов. Ранее уже отмечалось, что из 10 крупнейших угольных бассейнов 6 находится на территории России.

Говоря о будущих потребностях человечества, особое внимание необходимо уделить минеральным ресурсам океанов. Сегодня шельфовые зоны включают почти треть мировых запасов нефти и газа. Общие запасы нефти оцениваются здесь в 120–150 млрд т, количество нефтегазоносных бассейнов — 30. Это сырье составляет 90 % современной добычи акваторий. Также здесь добывают 90 % брома, 60 % магния, 60 % циркониевых и 25 % ториевых минералов, треть мировой добычи каменной соли. Запасы фосфоритов в океане достигают примерно 90 млрд т, а железо-марганцевых конкреций — около 2–3 трлн т. Особо перспективными считаются последние, поскольку они образуют почти сплошной слой на поверхности дна океана, на глубине более 4 км. Эти конкреции включают до 36 % мар-

ганца, а также железо, медь, никель, кобальт, титан, молибден и другие компоненты (всего более 20). В США, Японии, Германии уже разработаны технические способы их добычи. Главной проблемой являются сейчас лишь экономические показатели, а также экологические последствия, к которым может привести такой способ разработки месторождений океанических площадей.

Таким образом, человечество может считать себя обеспеченным главными видами минерального сырья для дальнейшего развития. Исключением являются только нефть и газ, прогнозные ресурсы и запасы которых ограничены, а темпы добычи непрерывно возрастают. Это требует переориентации соответствующих отраслей промышленности и энергетики на другие источники, в числе которых непопулярная сейчас атомная отрасль и пока еще слабо изученное тепло глубинных зон недр. Дальнейшего изучения требует возможность наращивания запасов агрохимического сырья и новых методов разработки их месторождений. Наконец, среди главных дальнейших задач этого направления следует назвать изучение минеральных ресурсов океанов и пути их освоения.

Рациональное использование минерального сырья

Сравнительно благополучное положение с большинством видов ресурсов минерального сырья, определенные перспективы океанов и большое количество уже открытых месторождений, которые можно устанавливать на примере Украины, не снимает вопроса о бережном, рациональном его использовании. Это составная часть более общей проблемы охраны недр и окружающей среды, рассматриваемой, в частности, экологической геологией. Она включает такие вопросы, как максимальное с точки зрения технических возможностей и экономических показателей извлечение сырья из недр, полноту получения из руды необходимых компонентов, комплексное использование имеющихся нужных составных частей разрабатываемого месторождения и ряд других. В их числе – минимальный ущерб, загрязнения при разработке месторождения. Попробуем затронуть ту часть из них, которая находится в сфере интересов и возможностей геологии. Удобнее рассмотреть эти вопросы преимущественно на материалах Украины.

В мировой практике в общем балансе используемого промышленностью природного сырья доля минеральных ресурсов составляет 75 %. Это позволяет утверждать, что благосостояние многих стран в существенной мере зависит от богатства недр полезными ископаемыми и их разнообразия, степени развитости минерально-сырьевого комплекса (МСК). Украина относится к числу государств с очень мощным и развитым МСК. Добыча и потребление такой продукции (с учетом площади и численности населения) у нас на порядок выше мировых показателей. На площади страны добывалось 30 % марганцевой руды, 13 % железной руды, 6 % каменного угля. С добычей, переработкой и использованием минеральных ресурсов прямо или косвенно связано 48 % промышленного потенциала Украины; для развитых индустриальных стран этот показатель составляет около 30 %.

Однако в использовании ее МСК имеется ряд проблем. Горнопромышленное производство характеризуется огромными масштабами переработки горной массы, что приводит ко многим негативным последствиям.

К настоящему времени в Украине накопилось более 13 млрд куб. м отходов добычи, обогащения и переработки полезных ископаемых. Ими занято более 180 тыс. га продуктивных земель. Кроме явных негативных экологических последствий такое положение затрагивает существенные экономические и природоохранные аспекты. Это делает очень острой проблему вторичного минерального сырья, создания и использования техногенных месторождений. К числу последних могут быть отнесены всевозможные горные отвалы, хвостохранилища, терриконы, те или иные формы складирования и захоронения отходов промышленных предприятий, материал которых может быть использован в будущем.

В Украине потребление вторичных минеральных ресурсов составляет 11–12 %, что намного ниже показателей других стран. Объем отходов МСК у нас в 3 раза больше, чем в странах Европы, и в 6 раз больше, чем в США. Около 40 % массы таких накоплений у нас может быть рентабельно переработано с целью получения ценных продуктов для различных отраслей хозяйственной деятельности. Смешанная неупорядоченная выемка и складирование различных видов попутных продуктов и отходов приводит к полной или частичной их потере как сырья. Таким примером могут быть сильно разубоженные окисленные железистые кварциты или керамзитовое сырье, попутно извлекаемое при разработке марганцевых руд. Оставшаяся часть отходов горнорудного производства при необходимости может быть использована непосредственно как инертный материал при строительстве дорог, дамб, при планировании территорий, для закладки пространств горных выработок.

Направления освоения подобного вторичного минерального сырья могут быть самыми разнообразными. Призывы к применению безотходных технологий не всегда являются оправданными. В отвалах и шламохранилищах зачастую содержатся забалансовые руды профилирующего полезного ископаемого, использование которых возможно в будущем. Например, отходы оловодобычи в Юго-Восточной Азии тщательно складировались и сохраняются; их нынешняя стоимость возросла, и оцениваются они очень высоко. И наоборот: при освоении Орловского месторождения в Забайкалье отходы обогатительной фабрики с очень высоким содержанием тантала первое время шли на производство низкосортного бутылочного стекла.

Острой и актуальной является проблема комплексного извлечения минерального сырья при разработке месторождений. Уже много раз ставился вопрос о попутной добыче гелия из месторождений углеводородов, возможности комплексного использования открытых в нашем регионе огромных запасов бишофита для создания в Украине собственного производства магниевых продуктов. Совершенно справедливо ставится вопрос о создании на отработанных полях Никопольского марганцеворудного бассейна мест для сохранения извлекаемого попутно керамзитового сырья, повышенный интерес к которому может возникнуть в будущем. Примером положительного решения может быть комплексное использование сивашской рапы не только для производства соды, но и для извлечения из нее других компонентов.

В связи с рациональным использованием минерального сырья появляется в определенном отношении новое понятие об искусственном место-

рождении. Этот термин и понятие нужно трактовать как целенаправленную деятельность по складированию отходов горного производства, а также как управление природными процессами по созданию нужных для человека скоплений. Примером первого случая может быть сохранение пока не используемых щелочных пород при разработке апатитов на Кольском полуострове или бедных железных и марганцевых руд на месторождениях Украины. В ряде случаев производится искусственное воздействие на гидродинамическую обстановку в береговой зоне моря или реки с целью формирования россыпи, а также скопления возможного строительного материала. В гидрогеологии иногда производится закачка поверхностных вод в недра для создания нового или пополнения исчерпавшего свои возможности водоносного горизонта, своеобразного нового месторождения подземных вод, созданного человеком, или восстановления отработанного.

Рациональное использование минерального сырья предусматривает решение многих других вопросов. В числе задач по дальнейшему освоению вторичного минерального сырья – предложить горным предприятиям раздельно складировать породные отвалы и забалансовые руды. Важной задачей является стимулирование комплексного извлечения минерального сырья с учетом попутных полезных ископаемых. Должна осуществляться геологическая оценка техногенных месторождений. Причем для их дальнейшего использования необходима разработка новых способов отработки и обогащения. Целесообразен запрет или резкое ужесточение требований при выдаче лицензий на разработку новых месторождений при наличии аналогичного минерального сырья в отвалах.

15. ГЕОЛОГИЯ НЕФТИ И ГАЗА

Своеобразными полезными ископаемыми являются нефть и газ. Они относятся к категории горючих полезных ископаемых, называемых также углеводородными; находятся в недрах в жидком и газообразном состоянии. Целенаправленное и активное их освоение начато лишь полтора—два столетия назад. Вместе с тем, сейчас без использования этого сырья практически невозможно развитие многих отраслей промышленности и большинства видов транспорта. Ресурсы данного полезного ископаемого являются ограниченными. Однако рост масштабов потребления непрерывно возрастает, а поиски альтернативных путей замены в нужном объеме не производятся. Все это определяет важную роль геологии в проведении соответствующих поисково-разведочных и других работ и исследований в настоящее время, возможности наращивания их ресурсов и запасов.

В поиски и добычу нефтегазовых скоплений втянуто большое количество стран, но неравномерное их размещение определяет разные возможности относительно удовлетворения таких нужд. В отличие от твердых полезных ископаемых, нефть и газ добываются из скважин, что позволяет для их получения выходить на шельфовые акватории и проникать в недра на большие глубины. Интересно, что однозначных представлений о происхождении данных углеводородов пока нет; наряду с традиционными органическими гипотезами многие исследователи придерживаются мнения о неорганической природе, что определенным образом может иначе ориентировать поисково-разведочные работы и добычу нефти и газа. Необходимо подчеркнуть, что для Украины роль данных полезных ископаемых весьма велика, а проблема обеспечения своим сырьем остра, что обязывает сделать на нем акцент. Кроме того, появляются вопросы в связи с участием украинских специалистов в поисках и разработке углеводородов в других странах, что требует определенной их подготовки.

История освоения нефтегазовых скоплений

Нефть еще в глубокой древности использовалась человеком для освещения, в лечебных целях и как строительный материал. Кустарные промыслы по ее добыче существовали на Ближнем Востоке (бассейн р. Евфрат) еще за 6 тыс. лет до н. э. В Крыму на Керченском п-ове источники нефти использовались за 2 тыс. лет до н. э., а в Китае (провинции Юнань и Шанси) — за несколько столетий до н. э. Однако до второй половины XIX ст. нефть добывалась кустарным способом из неглубоких колодцев и в незначительных количествах.

Освоенный во второй половине XIX ст. машинный способ добычи путем бурения скважин способствовал быстрому развитию нефтедобывающей промышленности. Так, если в 1859 г. на всех континентах было добыто всего 5 тыс. т нефти, то в 1900 г. мировая добыча достигла почти 20 млн т, из которых на Россию приходилось 53 % добычи, а на США — 43 %. В 1950 г. она достигла уже 520 млн т, а сейчас составляет около 3500 млн т. Такие показатели непрерывно возрастают, и прогнозируется дальнейшее их увеличение. Ожидалось, что мировая потребность в нефти в 2010 г. составит 6430—6650 млн т условного топлива, а в 2020 г. достигнет 8 150 млн т; хотя некоторые эксперты прогнозируют спад добычи.

Меньшими темпами, но достаточно активно использовался природный газ, роль которого в развитии отдельных стран повысилась уже в первой половине XX ст. Сперва он применялся лишь как топливо, но с 30-х гг. прошлого века его стал использовать ряд отраслей промышленности (металлургическая, металлообрабатывающая, цементная и др.); он также перерабатывался как технологическое сырье. Если в 1920 г. мировая добыча природного газа составляла лишь 35 млрд куб. м, то в 1950 г. она возросла до 192 млрд куб. м, а к концу XX ст. приблизилась к 2200 млрд куб. м.

Резкое возрастание добычи нефти и газа, особенно после Второй Мировой войны, сопровождалось значительным расширением поисково-разведочных работ. Если в 1940 г. нефтегазописковые работы велись всего в 56 странах, то в 1967 г. ими было охвачено уже 110 государств на всех пяти континентах. Нефть и природный газ являются важнейшими энергоносителями, доля которых в энергетике различных стран колеблется от 30–50 до 70–80 % и более. Эти углеводороды являются основой благополучия многих государств; в настоящее время на первом месте по добыче нефти стоит Саудовская Аравия, на втором Россия, а на третьем США. Прогнозная оценка мировых потенциальных ресурсов жидких углеводородов по данным различных исследователей колеблется в пределах 270–500 млрд т. Всего в мире открыто около 50 тыс. месторождений нефти и газа. Вместе с тем, подчеркивается, что территории многих стран мира пока еще не изучены полностью или в значительной степени, а поисковые работы в пределах акваторий находятся лишь на начальной стадии.

Первые морские скважины были пробурены в Каспийском море (1924 г.) с искусственных сооружений и в Мексиканском заливе (США, 1933) с плавающей баржи. В 1958 г. работы на морских нефтепромыслах проводили лишь четыре страны. В 1960 г. поиски нефти и газа на шельфе осуществляли 15 стран, а в 1973 г. — около 100 стран. В 1980 г. уже более 40 государств имели морские нефтепромыслы. Если к началу 1970-х гг. добыча нефти и газа ограничивалась глубинами 100–110 м и расстоянием от берега до 150 км, то сейчас в мире ежегодно бурят до 1000 поисково-разведочных скважин общим метражом около 3 млн м и до 2000 эксплуатационных скважин. В отдельных случаях нефть добывают на участках глубже 300 м и на расстоянии от берега до 200 км. Поисковые работы распространяются на все более глубокие районы акваторий, поскольку более 30 % запасов нефти и газа в Мировом океане размещается за границами с глубинами более 200 м. Ожидалось, что к 2010 г. в море будет добываться до 60 % всей нефти.

Состав и свойства нефти и природного газа

Нефть и природный газ относятся к особой группе минеральных образований земной коры, называемых каустобиолитами, или горючими полезными ископаемыми органического (биологического) происхождения. Они разделяются на два больших ряда: 1) угольный — торф, бурый и каменный уголь, антрациты; 2) нефтяной, или битумный — нефть, природные углеводородные газы, природные битумы (мальты, асфальты, озокериты и др.).

Нефть представляет собой природную горючую маслянистую жидкость чаще всего темного цвета, флуоресцирующую на свету и состоящую

в основном из углеводородных соединений. Важнейшими ее физическими свойствами являются плотность (720–1000 кг/куб. м), вязкость (0,5–150 мПа.с), поверхностное натяжение, растворимость (низкая в воде, высокая в газе), оптическая активность (способность вращать плоскость поляризации светового луча), электрические свойства (нефть – диэлектрик). Нефть состоит из 5 основных химических элементов – С, Н, S, O, N при резком преобладании двух первых – углерода (83–87 %) и водорода (12–14 %). Гетероэлементы (S, O, N) составляют в сумме 5–8 %. Содержание других элементов (V, Ni и др.) ничтожно.

Углеводородные соединения составляют в нефти от 75 до 100 %. Среди них различают следующие группы: 1) парафиновые углеводороды (метановые, алифатические, алканы); 2) наftenовые углеводороды (полиметиленовые, наftenы, циклопарафины, цикланы); 3) ароматические углеводороды (арены); 4) смешанные, или гибридные углеводороды. Неуглеводородные, или гетероатомные компоненты нефти включают сернистые (сульфиды, меркаптаны, элементарная сера), азотистые (соединения рядов пиридина и хинолина), кислородные (наftenовые кислоты, кетоны, фенолы и др.) соединения, металлоорганические комплексы, смолы и асфальтены. Всего из нефти выделено и впоследствии идентифицировано более 500 индивидуальных химических соединений.

Природные газы в земной коре находятся в свободном (залежи), растворенном, сорбированном и твердом (газогидраты) состояниях. Основным компонентом газовых скоплений обычно является метан – CH_4 (до 95–99 %). Иногда его содержание снижается до 20–50 % и менее. Гомологи метана (этан, пропан, бутаны, пары пентанов), или тяжелые углеводороды содержатся в количестве от 1–5 до 15–20 %, редко больше или меньше. Из неуглеродных компонентов в составе природных газов присутствуют азот, инертные газы (главным образом гелий и аргон), углекислый газ, иногда сероводород. Иногда обнаруживают водород, окись углерода, сернистый газ. Присутствие кислорода обычно связывают с загрязнением проб атмосферным воздухом.

Физические свойства природных газов определяются их химическим составом. Газы, растворенные в нефтях и выделяющиеся в свободную фазу на поверхности при добыче нефти, называются попутными нефтяными газами. Жидкие углеводороды, выпадающие из добываемого газа на поверхности, называются газовым конденсатом; они состоят в основном из бензиновой фракции.

Условия залегания нефти и газа в земной коре

Для образования промышленного скопления (залежи) нефти и газа в земной коре необходимы следующие условия: 1) наличие породы–коллектора; 2) наличие газонефтеупорной покрывки; 3) наличие ловушки для углеводородов; 4) наличие благоприятных гидрогеологических условий; 5) наличие в достаточном количестве углеводородов.

Коллекторами называются горные породы, обладающие способностью вмещать нефть, газ и воду и отдавать их при разработке. Они должны обладать емкостью и проницаемостью. Таким термином называется любая порода, содержащая сообщающееся пространство, которое может быть заполнено углеводородами. Это в большинстве случаев осадочные породы

терригенного и хемогенного состава. Коллекторские свойства пласта определяются его емкостными и фильтрационными свойствами, к которым относятся пористость, проницаемость, гранулометрический состав, сжимаемость и др. Схема их деления аналогична схеме деления осадочных пород — выделяют обломочные (кластические, терригенные), хемогенные и биогенные, а также смешанного состава породы-коллекторы. Кроме того, они разделяются на две основные группы — пористые и трещинные. Слабо проницаемыми или непроницаемыми породами являются глины, соли, гипсы, ангидриты, плотные известняки, образующие обычно покрывку, которая перекрывает продуктивный коллектор, нефтегазовые залежи, препятствуя их перемещению вверх и разрушению.

По характеру пустот коллекторы разделяются на: 1) гранулярные, или поровые, представленные только обломочными осадочными породами; 2) трещинные — литифицированные осадочные, магматические и метаморфические горные породы; 3) каверновые, или кавернозные — только карбонатные породы; 4) смешанные, среди которых различают порово-трещинные, порово-каверновые, каверново-трещинные. Емкость коллектора характеризуется коэффициентом пористости. Различают общую, открытую и эффективную пористость. По размерам поры делятся на сверхкапиллярные (более 508 мкм), капиллярные (508—0,2 мкм) и субкапиллярные (менее 0,2 мкм); последние коллекторами уже не являются.

Основным показателем породы-коллектора является ее пористость. Она определяется наличием пустот в породе, которые могут быть местом перемещения или скопления углеводородов. Выражается пористость в процентах или долях от геометрического объема породы. Различают полную и открытую пористость. Коэффициент полной пористости определяется как отношение объема всех пор к видимому объему породы. Коэффициент открытой пористости есть отношение объема взаимосоединяющихся пор, в которых возможно течение жидкости, к видимому объему породы. Пористость определяется по результатам изучения керна или геофизических исследований в скважинах. В большинстве обломочных пород она составляет от 5 до 30 %, чаще всего 10—20 %. В карбонатных породах она меньше, но там возрастает проницаемость. Промышленная пористость составляет 5 %; в зависимости от ее величины говорят об очень плохой, плохой, средней, хорошей и очень хорошей пористости.

Проницаемостью называют способность породы пропускать через себя жидкость и газ при перепаде давления. Определяется она в лабораториях путем прокачивания нефти, газа, воды через образцы керна. Обычно выделяют горизонтальную и вертикальную проницаемость. Может также определяться по результатам исследования скважин. Различают физическую, фазовую и относительную проницаемость. Единицей ее измерения является величина, выводимая из закона Дарси, хорошо известного в гидрогеологии. Определяемая скорость фильтрации прямо пропорциональна площади поперечного сечения и градиенту давления и обратно пропорциональна вязкости флюида. В системе СИ за единицу проницаемости принят 1 кв. м или 1 кв. мкм. Коэффициент проницаемости и коэффициент фильтрации связаны между собой следующими соотношениями: первый из них прямо пропорционален динамической вязкости флюида и обратно пропорционален объемному весу флюида, умноженному на коэффициент фильтрации.

Утвердившейся является классификация песчано-алевролитовых коллекторов по А.А. Ханину, в основу выделения классов которой положена проницаемость по газу в кв. мкм: класс I (очень высокая проницаемость и емкость) 1 или более; класс II (высокая проницаемость и емкость) 0,5–1; класс III (средняя) 0,1–0,5; класс IV (пониженная) 0,01–0,1; класс V (низкая) 0,001–0,01; класс VI (не является коллектором, не имеет промышленного значения) – менее 0,001. Слабопроницаемые породы, перекрывающие нефтяные и газовые залежи, называются покрывками (а соответствующие породы – флюидопорами). Роль покрывок выполняют глины, соли, гипсы, ангидриты и плотные разности карбонатных пород. А.А. Ханиным предложена обобщающая классификация покрывок по их экранирующей способности, которая учитывает их проницаемость и давление прорыва газа. Они по экранирующей способности соответственно разделяются на весьма высокие (группа покрывок А), высокие (В), средние (С), пониженные (Д) и низкие (Е).

Нужно назвать еще один показатель, который связан с условиями залегания углеводородов. Природными резервуарами называются естественные вместилища нефти, газа и воды, внутри которых эти флюиды могут циркулировать и форма которых обусловлена соотношением коллектора с вмещающими его плохо проницаемыми породами. Выделяют следующие типы таких резервуаров: пластовые, массивные, массивно-пластовые, литологически ограниченные.

Залежи и месторождения нефти и газа

Нефть и газ могут задерживаться и скапливаться только в определенных частях природных резервуаров, называемых ловушкой. Таким термином называют часть резервуара, в которой в условиях действия сил гравитации благодаря наличию препятствия (экрана) на пути движения нефть и газ задерживаются и образуют скопление (залежь). Различают следующие классы ловушек: 1) структурные сводовые, образуемые изгибом слоев; 2) структурные, экранированные сбросами, или тектонически экранированные; 3) стратиграфические; 4) литологические (литологически экранированные); 5) рифогенные (биогермные); 6) гидродинамические (гидравлические). Около 80 % залежей УВ в мире связано с ловушками структурного класса. К ловушкам иных классов, называемых нетрадиционными, относится около 205 залежей. Однако в старых и хорошо разведанных регионах доля последних обычно возрастает.

Залежь нефти и газа – это естественное локальное (единичное) скопление нефти и газа в ловушке. Соответственно, месторождением называют совокупность залежей УВ, приуроченных к одной или нескольким ловушкам одной и той же структуры, ограниченной по размерам площади, контролируемой единым структурным элементом (поднятием и др.).

Поверхности раздела газа и нефти, воды и нефти, газа и воды называют соответственно поверхностями газонефтяного (ГНК), водонефтяного (ВНК) и газоводяного (ГВК) контактов. Линию пересечения поверхности ВНК (ГВК) с кровлей продуктивного пласта называют внешним контуром нефтеносности (газосности), а с подошвой продуктивного пласта – внутренним контуром нефтеносности (газосности). Если нефть (газ) заполняет пласт

не на всю его толщину и не по всей площади, подстилаемой водой, то такие залежи называются водоплавающими (неполнопластовыми). Если в своде пласт заполнен нефтью (газом) на всю толщину, то такая залежь называется полнопластовой. Такие залежи имеют «сухое поле». Длина, ширина и площадь залежи определяются по внешнему контуру нефте(газо)носности. Высотой залежи называется вертикальное расстояние от подошвы залежи (ВНК или ГВК) до ее высшей (апикальной) точки.

Залежи УВ классифицируются следующим образом: 1) по типу заключающих их ловушек и природных резервуаров; 2) по фазовому состоянию заполняющих их веществ. Из классификаций по первому признаку широкое распространение получила классификация И.О. Брода, в которой на первом месте стоит тип природного резервуара, а на втором – тип ловушки, или экранирования. На этом основании выделяют: 1) пластовые сводовые, 2) пластовые тектонически экранированные, 3) пластовые стратиграфически экранированные, 4) пластовые литологически экранированные, 5) пластовые экранированные поверхностью соляных штоков или глиняных диапиров, 6) пластовые экранированные асфальтом, 7) пластовые в гидродинамических ловушках, 8) массивные структурные, 9) массивные в эрозионных выступах, 10) массивные в биогермных образованиях, 11) литологически ограниченные.

В классификации украинских геологов выделяется два типа залежей – сводовый и экранированный. Классы внутри этих типов выделяются по характеру природных резервуаров – пластовый, массивный, массивно-пластовый. Виды залежей разделяются по особенностям структур и характеру экранирования. По фазовому состоянию залежи разделяются на нефтяные, газонефтяные (нефтяные с газовой шапкой), нефтегазовые (газовые с нефтяной оторочкой), газовые (сухого или жирного газа), газоконденсатные (конденсатногазовые), нефтеконденсатногазовые.

Месторождения углеводородов (УВ) также могут классифицироваться по различным признакам. Так, по количеству развитых на месторождении продуктивных горизонтов они могут быть разделены на однопластовые и многопластовые. В зависимости от величины запасов газа в Украине принято разделять месторождения на уникальные (более 300 млрд куб. м), крупные (100–300), большие (30–100), средние (10–30), небольшие (5–10), мелкие (1–5) и очень мелкие (менее 1 млрд куб. м).

Миграция нефти и газа, формирование их залежей

Под миграцией нефти и газа понимаются все виды и формы перемещения их в горных породах. Различают следующие виды миграции: 1) внутрипластовая (внутрирезервуарная) и межпластовая (межрезервуарная); 2) боковая (латеральная) и вертикальная; 3) первичная, или эмиграция (миграция УВ из нефтематеринской толщи в коллектор) и вторичная (миграция вне материнских пород). Форма миграции может быть: 1) молекулярной (диффузия или перемещение в растворенном состоянии вместе с водой); 2) струйной, или фазовой (миграция в свободном состоянии в виде жидкости и газа, в том числе газонефтяной раствор).

Факторами миграции нефти и газа являются: 1) выжимание вместе с водой в процессе уплотнения осадков и пород; 2) повышение температуры

с погружением и увеличением объема УВ; 3) увеличение давления, которое может привести к гидроразрыву пласта; 4) для первичной миграции — диффузия, всплытие нефти и газа под действием архимедовой силы и гидравлический фактор.

В процессе миграции нефти и газа в пласте—коллекторе происходит аккумуляция их в ловушках, которые встречаются на пути миграции, и таким образом происходит формирование первичных залежей углеводородов. При этом в определенных условиях происходит также разделение нефти и газа. Например, согласно принципу дифференциального улавливания при восходящей латеральной миграции газонефтяного потока наиболее глубокие ловушки в цепочке структур оказываются заполненными газом, промежуточные — газом и нефтью, а самые высокие структуры заполняются нефтью. И.В. Высоцкий оценивает скорость накопления нефти в ловушках величиной от 12 до 700 куб. м/год, а продолжительность формирования нефтяных залежей — 1–12 млн лет.

Переформирование залежей УВ может происходить при раскрытии ловушки в результате тектонических подвижек или вертикальной миграции при образовании разрывных тектонических нарушений. Образовавшиеся в результате переформирования залежи называются вторичными. Формирование и переформирование залежей происходит в сложной геологической обстановке; на них влияют разнообразные тектонические, литологические, гидрогеологические факторы. Скопления нефти и газа, образованные в результате миграции и аккумуляции их в ловушках, в дальнейшем в ходе геологического развития территории могут быть частично или полностью разрушены под влиянием тектонических, биохимических, химических и физических факторов.

Основные закономерности размещения нефти и газа

На земном шаре известно более 50000 месторождений нефти, газа и битумов, открытых на всех континентах (кроме Антарктиды) и во многих омывающих их морях и океанах. Однако выявленные залежи УВ в пределах нефтегазоносных площадей и сами эти территории и акватории распределены крайне неравномерно. Определяется это, прежде всего, их геологическим строением и развитием.

Нефтегазообразование и нефтегазонакопление генетически связаны с осадочными образованиями и представляют собой одно из составных звеньев литогенеза, развивающегося в тесной связи с направлением тектонического развития земной коры и определенного ее участка. Нефть, газ, седиментогенные и литогенные воды представляют собой жидкие и газообразные продукты литогенеза, обособляющиеся в процессе постседиментационного преобразования осадков и пород.

Процессы нефтегазообразования и нефтегазонакопления имеют периодический характер, тесно связанный с цикличностью литогенеза. При благоприятных условиях осадконакопления они происходили в течение всех геологических периодов и эпох криптозоы и фанерозоы. Крупнейшие нефтегазоносные провинции связаны с обширными и глубокими осадочно-породными бассейнами, заполненными разнообразными образованиями, среди которых имеются нефтегазогенерирующие формации, а также

породы—коллекторы и покрышки и благоприятные для нефтегазонакопления структурные формы.

Возникновение и развитие процессов нефтегазообразования и нефтегазонакопления в земной коре контролируется совокупностью взаимосвязанных и взаимообусловленных факторов, главнейшими из которых являются следующие: 1) палеотектонические условия, в особенности на этапах развития быстрого погружения и интенсивного осадконакопления, когда накапливаются мощные доминантные комплексы, включающие и нефтегазогенерирующие свиты; 2) особенности современной структуры территории или акватории, определяющие наличие разнообразных ловушек; 3) палеогеографические и литолого-фациальные условия накопления осадков, определяющие образование нефтегазогенерирующих толщ, а также коллекторские свойства природных резервуаров и экранирующие свойства покрышек; 4) термобарические условия и их изменения во времени, обуславливающие последовательное прохождение зон газо- и нефтеобразования; 5) современные гидрогеологические и палеогидрогеологические условия, определяющие условия миграции УВ, их накопление в ловушках и сохранение образовавшихся залежей.

В вертикальном разрезе нефтегазоносных площадей выделяются три генетические зоны: 1) верхняя зона метанообразования (биохимический низко-температурный метан) на глубинах до 1,2–1,5 км, температуры до 30–50°C; 2) средняя зона нефтеобразования (главная зона нефтеобразования – ГЗН) получает развитие на глубинах 2–5 км при температурах от 50–60 до 130–170°C при существенной роли сапропелевого ОБ в составе захороненной органики; при существенной роли гумусового ОБ в этой зоне генерируется жирный газ (метан и его гомологи) с конденсатом; 3) нижняя зона высоко-температурного метанообразования развита на глубинах более 4–5 км при температурах 170–200°C и более.

Факторы контроля и типы нефтегазонакопления в литосфере

Организация поисково-разведочных работ, подсчет запасов нефти и газа, схемы районирования нефтегазоносных площадей должны базироваться на знании геологических факторов их контроля, размещения и сохранения в литосфере. Принято выделять основные – структурные, литологические и стратиграфические – условия, которые достаточно разнообразны и детально изучены; именно они формируют различного рода нефтегазоносные площади – провинции, области, районы, а также места отдельного или локального их скопления – месторождения и залежи. Непременным условием формирования залежей углеводородов является существование пород-коллекторов и разделяющих (перекрывающих) их покрышек.

Структурные факторы предполагают наличие благоприятных структур для нефтегазовых скоплений. Среди главных таких структур на платформенных площадях нужно назвать плиты (области платформ, в пределах которых складчатый фундамент погружен на большие глубины), мегасинеклизы и синеклизы, внутриплатформенные впадины, различного рода прогибы, краевые мегасинеклизы (области перикратонных опусканий, прилежащие к складчатым областям; их примеры – Прикаспийская и Примексиканская). В пределах складчатых сооружений могут выделяться

межгорные впадины, а на границе таких областей с платформами — краевые (предгорные, передовые) прогибы. Все такие депрессии можно рассматривать как структуры первого порядка.

Геоструктурами второго порядка принято считать системы мегавалов и кражи, авлакогены и рифты, сводовые поднятия и внутриплатформенные впадины, склоны платформ (региональные моноклинали). Примерами таких структур могут быть составные части Западно-Сибирской плиты, Днепровский грабен ДДВ и др. Структурами третьего порядка являются зоны поднятий изометричной формы на платформах, валы, блоковые и горстообразные поднятия, грабенообразные прогибы (горсты и грабены), зоны региональных разломов, рифовых массивов, солянокупольных структур и структурные ступени. Среди примеров подобных структур можно назвать Северный и Южный борты ДДВ, Машевско-Шебелинский и Талалаевско-Рыбальский районы впадины, Припятский грабен и др.

Структурные элементы четвертого порядка наиболее многообразны. К ним обычно относят отдельные залежи или месторождения. На платформах это антиклинали и купола простого и сложного строения, солянокупольные структуры, рифовые массивы, антиклинали, осложненные локальными выступами кристаллических пород, структурные носы и флексуры, моноклинали, осложненные разрывными нарушениями. В складчатых сооружениях и краевых прогибах такими структурами можно считать отдельные антиклинали и брахиантиклинали, поднадвиговые зоны, рифовые массивы. Естественно, что такая схема деления должна считаться условной. Представления об этих элементах должны сопровождаться иллюстрацией отдельных соответствующих структур.

Литологические факторы нефтегазового контроля предполагают, прежде всего, выделение в осадочном разрезе пород, толщ или каких-то их комплексов, которые могут быть отнесены к коллекторам, а также покрышкам, своеобразным нефтегазоупорам. Учитывая фаціальную изменчивость разреза, изменение коллекторских свойств пород с глубиной или в зависимости от степени их преобразованности, изучать такие элементы нефтегазонакопления достаточно сложно. Можно говорить о региональных нефтегазоупорах, каковыми могут быть толщи соленосных пород, глинистые или флишевые образования, писчий мел и многие другие. Одни и те же породы (например, известняки) в условиях разной степени трещиноватости могут иметь совершенно различные коллекторские свойства. В ряде случаев это позволяет говорить о зонах нефтегазонакопления литологического типа.

Наряду с региональной выдержанностью литологического состава и свойств на больших площадях можно фиксировать различные изменения коллекторских свойств уже в пределах одних поднятий, в сводах и на склонах антиклиналей. Существуют также случаи внедрения магматических тел и сопровождающего такой процесс метаморфизма, который резко меняет коллекторские свойства. То же относится и к нефтегазонасному горизонту, коллекторские свойства и продуктивность которого будут резко различаться на разных глубинах. Все это требует детального изучения литологического разреза нефтегазонасных площадей.

Стратиграфические факторы контроля предполагают несогласное перекрытие отдельных литолого-стратиграфических комплексов более моло-

дыми и с разными коллекторскими свойствами, а также случаи выклинивания важных для нефтегазоаккумуляции толщ или отдельных пластов. Частным случаем такого нарушения литолого-стратиграфической последовательности может быть формирование вулканогенных образований, а также приращение осадочных пород к поднятиям или породам фундамента. Таким образом, в ряде мест с неструктурными элементами разрезов могут быть связаны случаи скопления нефти и газа или их выклинивания.

Нефтегазогеологическое районирование

Такое районирование предполагает расчленение изучаемой территории на отдельные части по степени сходства и различия геолого-тектонического строения, составу слагающих их формаций, а также особенностям нефтегазоносности. В геологии для такого деления утвердилось выделение нефтегазоносных провинций, областей и районов (И.М. Губкин, 1934; Теор. основы, 1987). Поскольку масштабы такого районирования могут быть различными, для более детальных делений предусмотрено выделение также зон нефтегазоаккумуляции, отдельных месторождений и залежей. Обычно основу для выполнения таких работ составляют тектонические карты, совмещенные с литолого-формационными данными. Необходимо подчеркнуть, что районирование должно рассматриваться как основа для соответствующего прогнозирования, выявления закономерностей размещения скоплений УВ и выбора наиболее эффективных направлений поисково-разведочных работ.

При нефтегазогеологическом районировании выделяются следующие основные таксоны (подразделения). Нефтегазоносная провинция (НГП) — это совокупность крупных геоструктурных элементов, характеризующихся общностью истории развития и стратиграфического диапазона региональной нефтегазоносности. Среди них выделяют НГП платформ, относящиеся к их плитам, и НГП складчатых областей, относящиеся к предгорным прогибам, межгорным впадинам и срединным массивам. Первые различаются по возрасту фундамента и осадочного чехла: Волго-Уральская провинция с докембрийским фундаментом и фанерозойским чехлом, продуктивным девоном, карбоном, пермью; Западно-Сибирская провинция с гетерогенным фундаментом и мезо-кайнозойским плитным чехлом; наиболее продуктивны юра и мел. Вторые НГП различаются возрастом складчатости: Закавказская провинция представлена межгорным прогибом альпийской складчатой области с продуктивными мелом, палеогеном, неогеном.

Нефтегазоносная область (НГО) представляет собой крупный целостный геотектонический элемент, характеризующийся общностью геологического строения и условий нефтегазообразования и нефтегазоаккумуляции. В пределах Украины ее классическим примером может быть Днепровско-Донецкая НГО. Соответственно, нефтегазоносным районом (НГР) является часть такой области, которая объединяет систему зон нефтегазоаккумуляции, выделяемую по геоструктурному признаку. Зоной нефтегазоаккумуляции называют систему смежных и сходных по геологическому строению месторождений УВ, относящихся к единой группе генетически связанных ловушек. Представления о более мелких единицах районирования (залежи, месторождения и др.) были сформулированы ранее.

Основными единицами нефтегазогеологического расчленения разреза являются нижеприведенные. Нефтегазоносная формация – это естественно-историческая ассоциация горных пород, связанная общностью условий нефтегазообразования и нефтегазонакопления (каменноугольная формация в Днепровско-Донецкой НГП). Она понимается как природная ассоциация горных пород, генетически и пространственно связанных между собой, которые благоприятны для нефтеобразования и нефтегазонакопления. Более дробными естественными скоплениями являются региональный и зональный нефтегазоносные комплексы. Примерами таких образований могут быть нефтегазоносные юрские отложения Западно-Сибирской плиты, среднепалеозойские терригенные отложения Предаппалачской впадины и др. Нефтегазоносный комплекс – это литолого-стратиграфический комплекс пород, характеризующийся нефтегазоносностью в пределах обширных территорий; его примеры – верхневизейско-серпуховский, нижнепермско-верхнекаменноугольный в Днепровско-Донецкой впадине. Продуктивный горизонт (ПГ) представляет собой один или несколько смежных пластов-коллекторов с едиными условиями формирования и строения залежей (ПГ от С-2 до С-9 и от В-7 до В-23 в верхневизейско-серпуховском нефтегазоносном комплексе).

Примеры нефтегазоносных провинций или областей будут кратко охарактеризованы в последующих разделах на примере их размещения в мире или в Украине. Следует подчеркнуть, что рассмотрение условий скопления углеводородов, понимание закономерностей размещения нефтяных и газовых скоплений является теоретической основой для прогнозирования, выбора оптимального направления и проведения поисково-разведочных работ. Критериями такого прогноза могут и должны быть палеотектонические, структурные, палеогеографические, литологические, формационные, геохимические, палеогеологические, геотермические и гидрогеохимические показатели. Это большое и сложное направление работ и исследований, которое должно предшествовать поискам и разведке.

Методика поисков и разведки залежей нефти и газа

Поисково-разведочные работы по выявлению скоплений нефти и газа представляют собой сложный и утвердившийся набор операций, который включает определенную их стадийность и последовательность, использование большого количества методов. Они определены ранее утвержденными системами Положений и практикой исследований, включают ряд стадий. Их принято разделять на региональные, поисковые и разведочные этапы, которые частично могут совмещаться. При проведении таких работ обычно предусмотрена структурно-геологическая съемка, геофизические работы, различные виды бурения, специальные исследования. Упомянем о главных из них.

Региональный этап поисково-разведочных работ включает две основные стадии: 1) прогнозирование нефтегазоносности, которое завершается качественной и количественной оценкой перспектив крупных территорий и выявлением первоочередных зон для следующей стадии работ; 2) оценка зон нефтегазонакопления, в результате чего должны быть выявлены наиболее перспективные районы для постановки поисковых работ. Допускается

совмещение этих стадий во времени. В хорошо изученных регионах работы этого этапа проводятся в небольшом объеме и направлены на изучение перспектив нефтегазоносности больших глубин, на выявление зон нефтегазонакопления неантиклинального типа, решение других вопросов.

Поисковый этап ставит своей целью открытие месторождений нефти и газа или новых залежей в неизученной части разреза уже известного месторождения. Он включает две стадии: 1) выявление и подготовка объектов к поисковому бурению, конечной целью которых является определение местоположения поисковых скважин; 2) стадия поисков, целью которой является открытие месторождений и залежей, осуществляемое путем бурения поисковых скважин.

Разведочный этап ставит целью подготовку открытого месторождения к разработке и включает: 1) стадию оценки, в процессе которой производится подсчет запасов и определяется очередность проведения опытно-промышленной эксплуатации; 2) стадию подготовки месторождения (залежей) к разработке, когда оценивается достоверность геологических параметров для составления проекта ОПЭ, иногда бурятся опережающие эксплуатационные скважины. Различают сгущающую или ползущую системы разведки. Системы размещения скважин бывают треугольными, кольцевыми, профильными. Расстояние между разведочными скважинами зависит от размеров залежи (запасов) и сложности геологического строения и изменяется от 10–12 до 0,5–1,5 км.

Структурно-геологические работы в условиях достаточно высокой геологической изученности могут быть иногда опущены. А **геофизические** методы исследований применяют на всех стадиях поисково-разведочных работ на нефть и газ. Их общей задачей является глубинное изучение определенных площадей с выяснением особенностей и детализации их строения. К методам полевой геофизической разведки относятся гравиразведка, магниторазведка, электроразведка и сейморазведка. Наиболее широко используются сейсмические методы. К ним относятся методы преломленных волн (МПВ), регулируемого направленного приема (МРНП), общей глубинной точки (МОГТ), а также вертикальное сейсмическое профилирование.

На этапах региональных и поисковых работ используют высокопроизводительную аэромагнитную и гравиметрическую съемки, электроразведку методами теллурических токов (ТТ), МТП, МТЗ, ВЭЗ становления поля и сейморазведки по профилям методами глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ), КМПВ. Региональные геофизические профили должны привязываться к опорным и параметрическим скважинам. К новым высокоэффективным модификациям сейморазведки относятся: высоко-разрешающая сейморазведка, многоволновая сейморазведка, объемная (трехмерная) сейморазведка, прямые геофизические методы направлены на выявление аномалий типа залежь (АТЗ).

Бурение является обязательным составным элементом проводимых работ. Это наиболее трудоемкий и дорогостоящий способ изучения недр. Оно включает бурение опорных скважин для изучения геологического строения и оценка перспектив малоизученных площадей, параметрических скважин, которые используются для изучения глубинного геологического строения, сравнительной оценки перспектив нефтегазоносности возможных зон

нефтегазонакопления и выявления наиболее перспективных районов для детальных работ, и структурных скважин, которые проходят на стадии подготовки площадей к поисковому бурению. Затем осуществляется проходка поисковых, разведочных и эксплуатационных скважин. Последние выполняют на завершающих стадиях разведки месторождения, когда предусмотрено их использование для подсчета запасов и разработки залежей нефти или газа. Существуют также специальные скважины (для сброса промышленных вод, для подготовки структур с целью создания подземных газохранилищ, для ликвидации открытых фонтанов).

Буровая скважина является не только документом, определяющим возможную нефтегазоносность, но и способом добычи нефти и газа. Их разрезы используют для распознавания и корреляции залегающих в недрах отложений, для определения физических параметров пород и содержащихся в них флюидов. Бурение сопровождается ведением бурового журнала, составлением разрезов, отбором керна (если это предусмотрено), проведением различного вида каротажа. Для корреляции разрезов буровых скважин используется ряд дополнительных методов, среди которых выделяют палеонтологические, стратиграфические, литологические (по характеру разреза, наличию опорных горизонтов), геофизические. Последние включают метод электротриемрии, который широко практикуется и основан на сопоставлении электрометрических данных разреза, и метод кавернометрии, который базируется на изменении характера и диаметра ствола скважины после обработки ее промывочной жидкостью. Существует также радиоактивный, механический, газовый, термический, акустический каротаж. Все это своеобразные исследования, которые обычно проводятся специалистами литологического и геофизического профиля.

Среди других своеобразных поисковых методов необходимо назвать геохимические исследования, основанные на прямом обнаружении мигрирующих УВ, гидрогеологические и гидрохимические методы поисков, когда изучается состав подземных вод и растворенных в них газов, с эволюцией и миграцией которых обычно связано образование подземных скоплений. Геохимические методы разделяются: 1) на региональные исследования, в процессе которых изучаются рассеянные органические вещества (ОВ), состав подземных вод и растворенных в них газов и ОВ; объемно-генетическим методом дается оценка нефтегазогенерирующих возможностей региона; 2) на поисковые геохимические методы, включающие газовую, газобиохимическую, битумно-люминисцентную съемку, газовый каротаж, газогидрохимические исследования; все они относятся к прямым геохимическим методам. В ряде случаев проводятся геотермические исследования, которые имеют целью выявить условия миграции углеводородов. Такие температурные наблюдения проводятся в скважинах в процессе опробования отдельных горизонтов или при каротажных работах.

В последнее время особо важную роль приобретают дистанционные методы исследований, которые включают различные аэро- и космометоды. В числе первых ранее использовались аэрофотосъемка, непосредственные аэровизуальные наблюдения и инструментальная авиаразведка. Космические методы исследований позволяют выявлять большое разнообразие линейных, кольцевых и других структур, геологическая природа которых не всегда может быть однозначно объяснена, но которые несут определенную

информацию, зачастую важную для нефтегазовой геологии. Дистанционные исследования дают возможность устанавливать тепловые, гравитационные, магнитные и другие поля, которые обычно сопровождают нефтегазовые скопления.

Таким образом, непосредственные поиски скоплений нефти и газа сводятся к выявлению локальных ловушек или предпосылок для их существования. Они могут быть структурно-стратиграфического типа (при несогласном залегании), структурно-литологическими, палеоструктурными, литолого-стратиграфическими. В процессе проведения таких работ выявляются трансгрессивное (несогласное) перекрытие или прилегание пластов-коллекторов, различного рода поднятия и другие структурные признаки возможных мест скопления нефти и газа. В природе существуют ловушки, которые формировались под действием нескольких факторов. Выявление условий и ареалов размещения благоприятных для нефтегазонакопления структур является необходимой предпосылкой для проведения разведки.

Конечной целью разведочных работ является подготовка объекта (месторождения, залежи) к разработке, подсчету и дифференциации его запасов. Разведочный этап включает две основные стадии: количественную оценку месторождений или залежей углеводородов и подготовку их к разработке. Следует подчеркнуть, что сама разведка залежей и месторождений проводится лишь в том случае, если поисковым бурением доказаны промышленное значение и экономическая целесообразность их разработки. Одним из основных принципов проведения разведочных работ должно быть обеспечение максимальной их эффективности и минимальной затратой материальных средств. Поэтому главными задачами этой стадии являются оконтуривание залежей и определение их запасов по промышленным категориям минимально необходимым количеством скважин.

Проводимые работы включают выбор основного принципа системы разведки (сверху вниз или снизу вверх), определение этажей разведки, а также принцип размещения скважин при разведке (треугольная, кольцевая, профильная системы). Вскрытие и опробование продуктивных пластов, являющиеся наиболее важным и ответственным этапом в разведочном бурении, включает такие операции, как гидроразрыв, торпедирование скважин, кислотную обработку их забоев и др. Эти работы проводятся специалистами бурового профиля, но с неизменным учетом геологических условий разведываемого месторождения. В комплекс исследований разведочных скважин входит их опытная эксплуатация, необходимая для промышленной оценки изучаемого объекта. Гидродинамические исследования скважин на стадии промышленной разведки проводятся с целью определения начального пластового давления, температуры, характера фильтрации флюида, коэффициента продуктивности, газового фактора и других параметров залежи.

Приведенная последовательность поисково-разведочных работ должна рассматриваться лишь как общая их схема, которая во многих конкретных случаях и условиях может существенно отличаться. Однако в любом случае она должна базироваться на материалах предыдущих этапов и стадий, которые включают: 1) этап региональных исследований, в составе которого есть стадии прогноза нефтегазоносности и оценки зон нефтегазонакопления; 2) этап поисков, включающий стадию выявления и подготовки объектов

к поисковому бурению и стадию непосредственного поиска месторождения или залежи, когда изучаемым объектом становятся подготовленные ловушки; 3) этап разведки, включающий стадию оценки месторождения или залежи, в течение которой подсчитываются запасы по категориям С, производится разделение залежей на промышленные и непромышленные и выбор объектов и этажей разведки, и стадию подготовки месторождения (залежи) к разработке, в течение которой производится оценка достоверности полученных геолого-промышленных значений, уточняется подсчет запасов и определяется коэффициент извлечения, а также производится доизучение залежи в процессе разработки.

Нефтегазоносные провинции мира

Схема нефтегазоносного районирования весьма сложна. Обычно такие построения сводятся к выделению провинций, областей и более дробных по площадям подразделений, их краткой геологической характеристике, описанию условий размещения нефти и газа, наиболее известных месторождений. Попробуем назвать лишь главные из них, сделав акцент на некоторых главнейших или своеобразных структурах и регионах. Их рассмотрение производится по материкам региональных исследований и обобщений; схемы районирования по данным разных исследователей могут существенно различаться (Б.И. Маевский и др., 2002).

В пределах Западной Европы принято выделять нефтегазоносные провинции (НПП), тяготеющие к Средиземноморскому поясу, его Альпийско-Карпатской и Центрально-Европейской областям, Западно-Европейской платформе. В их составе выделяются Североевропейская, Западноевропейская, Британская, Пиренейская, Предальпийская, Северокарпатская, Предкарпатско-Балканская, Мизийская, Альпийско-Карпатская, Динарская и Апеннинская НПП.

Особый интерес в последнее время представляет Североевропейская, или Североморско-Германская НПП, являющаяся самой крупной в Западной Европе. Она размещается в глубокой синеклизе на северо-западе Западно-Европейской эпипалеозойской платформы. Газовые залежи на юге провинции связаны с песчаниками нижней перми (ротлигендес), перекрытыми соленосной толщей верхней перми (цехштейн). Нефтяные месторождения развиты в северной части Северного моря, где продуктивные горизонты имеются в известняках и песчаниках юры, мела, кайнозоя. В значительной своей части провинция размещена на площади Северного моря; осевая часть последнего разбита системой молодых грабенов (Центральный, Викинг). Мощность осадочного чехла одноименной синеклизы достигает 10–12 км, а фундамент представляет мозаику разновозрастных блоков. В ее составе выделяется ряд нефтегазоносных областей и крупных месторождений (Гронинген, Статфиорд, Брент, Леман, Слохтерен и др.).

На площади Восточной Европы выделяются Прибалтийская, Карпатская, Днепровско-Припятская, Причерноморско-Крымская, Волго-Уральская, Тимано-Печорская, Предуральская, Прикаспийская, Предкавказская НПП, которые окаймляют Восточно-Европейскую платформу. Прикаспийская провинция начала осваиваться позже всех других и пока еще мало изучена. Одноименная впадина сложена мощными толщами осадочных образований с толщиной чехла до 23 км, с наиболее полным для платформы разрезом

верхнего палеозоя, мезозоя, кайнозоя; в фундаменте ее размещаются грабенообразные структуры типа авлакогенов. Особенностью впадины является наличие мощных (до 4 км) соленосных толщ пермского возраста, образующих соляные купола. Основные запасы УВ связаны с карбонатными подсолевыми отложениями перми и карбона.

Нефтегазоносные провинции Азии являются наиболее многочисленными и богатыми. В пределах северной части материка выделяются Западно- и Восточно-Сибирская, Лено-Вилюйская и Енисейско-Хатангская НПП. Наиболее крупной и важной среди них является Западно-Сибирская провинция, освоение которой начато в послевоенное время. Это эпипалеозойская плита, осадочный чехол которой залегает на глубине от 2,6—4 до 9—16 км на севере. Для фундамента характерно наличие раннемезозойских и других рифтов. В пределах провинции открыто около 350 нефтяных (преимущественно в центральной части) и нефтегазовых месторождений. Здесь выявлено более 700 залежей, приуроченных преимущественно к юрским и меловым песчаникам. Большинство залежей пластовые сводовые, покрышки глинистые. Провинция разделяется на 10 нефтегазоносных областей. Крупнейшим нефтегазоконденсатным месторождением провинции является Уренгойское, нефтяными — Усть-Балыкское, Самотлорское и др.

Восточная Азия включает Охотскую и Японскую НПП, а Центральная Азия — Западнокитайскую, Центральнокитайскую, Восточнокитайскую, Юго-Восточнокитайскую и Гобийскую провинции. На Юго-Востоке Азии принято выделение Индо-Гангской, Индийской, Аракан-Июмской, Индокитайской и Индонезийской НПП. Геологическое строение и структурная позиция всех этих провинций резко отличаются друг от друга, они пока еще очень слабо изучены и не образуют сколько-нибудь перспективных на нефть и газ площадей. Все это ставит находящиеся на этих территориях страны в зависимость от данного сырья.

Нефтегазоносные провинции Юго-Западной Азии относятся как к числу площадей наиболее раннего освоения этого сырья (Закавказье, Западная Туркмения), так и к наиболее богатым. Здесь принято выделять Аравийскую, Месопотамскую, Центральноиранскую, Средиземноморскую, Закавказскую, Южнокаспийскую, Туранскую и Тянь-Шань-Памирскую НПП. Особый интерес представляет Аравийская провинция, охватывающая территорию Саудовской Аравии, Катара, Бахрейна, Юго-Западного Ирака, Абу-Даби, Дибай и Омана. Первое месторождение нефти в пределах провинции открыто в 1932 г. на о-ве Бахрейн. В тектоническом отношении она относится к Аравийской плите, которая характеризуется значительным расчленением кристаллического фундамента, резко выраженной блоковой тектоникой. Осадочный чехол сложен отложениями палеозоя (до 7 км) и мезо-кайнозоя (до 5,5 км). В составе провинции выделяются три области: Хаза (размещается вдоль Персидского залива), Басра-Кувейтская и Рубэль-Хали (одноименная впадина на юго-востоке Аравийской платформы, частично расположенная в акватории, для которой характерна соляная тектоника, месторождения—гиганты Катар, Абу-Даби, Мурбан-бу-Хаза и др.). Среди главных месторождений углеводородов — Гхавар, Хурайс, Хурсания, Манифа, Сафания, Румейла, Ага-Джари, Киркук.

В пределах Африки, до недавнего времени считавшейся континентом малоперспективным в нефтегазовом отношении, ситуация резко изменилась со второй половины XX ст., после открытия месторождений нефти Хасси-Мессауд и газа Хасси-Р'Мель (1956). Если в 1955 г. общая добыча нефти составляла здесь 2,2 млн т, 90 % которой давал Египет, то в 2000 г. она достигла уже 350 млн т. В пределах материка выделяются Сахарская, Атласская, Западно- и Восточноафриканская НГП. В пределах Сахарской провинции, размещенной на одноименной плите и являющейся богатейшим регионом Африки, выявлено свыше 300 нефтегазовых месторождений (свыше 200 нефтяных). Суммарная мощность фанерозойского осадочного чехла составляет здесь около 15 км. Своеобразной является Западноафриканская НГП, которая расположена на юго-западной окраине Африканской платформы, на ее ступенчатом грабене на Атлантическом побережье. Здесь выявлено более 100 нефтяных и газовых месторождений, часть которых размещается в акваториях; она рассматривается как весьма перспективная провинция.

Нефтегазоносные площади Северной и Центральной Америки начали изучаться в числе первых. Расположены они преимущественно на площадях США, Канады, Мексики и включают Западноканадскую, Пермскую, Западную Внутреннюю, Примексиканскую, Аляскинскую и др. НГП. Очень показательной является история освоения этих ресурсов в США. В 1969 г. в стране было добыто 510 млн т нефти, а за предыдущее столетие — 12,5 млрд т. Вместе с тем, в 1989 г. здесь добыто 409,6 млн т нефти и конденсата (разведанные запасы составляли тогда 4 млрд т), а в 2000 г. всего 317 млн т. И дело даже не в исчерпании запасов континента, а в определенном изменении стратегии их использования.

Выходы нефти на Североамериканском континенте известны еще до открытия его Колумбом; индейцы использовали нефть для лечения и освещения. В 1859 г. в Пенсильвании пробурена первая в мире скважина, и с глубины 21 м получен фонтан нефти. Сейчас на континенте открыто около 29 тыс. месторождений нефти и газа; потенциальные возможности его еще далеко не исчерпаны. В последние годы большие открытия сделаны в Примексиканской впадине (разведано 10,4 тыс. месторождений, в том числе 300 на морских площадях); наибольшими скоплениями характеризуются также Западноканадская (перикратонный прогиб на склоне Канадского щита), Аляскинская и Пермская НГП. Последняя вместе с Уочито окаймляют с северо-запада Примексиканскую провинцию; в их основании размещается структура типа авлакогена, которую Н.С. Шатский в свое время сравнивал с прогибом Большого Донбасса.

Нефтегазоносные провинции Южной Америки относятся к системе депрессий, тяготеющих к Предандийскому краевому прогибу. Здесь выделены Маракайбская, Оринокская, Венесуэльско-Тринидадская и Магдаленская НГП. Нефтепоисковые работы на континенте начаты в 1878 г.; выходы нефти известны здесь еще с XVII ст. В 1969 г. разведанные запасы на континенте составляли: 3412 млн т нефти и 1396 млрд куб. м газа, а добыча 187 млн т и 7,75 млрд куб. м соответственно. В 2000 г. запасы составляли 13,3 млрд т нефти и 6927 млрд куб. м газа. Основная их часть, а также наибольшая добыча принадлежат Венесуэле (запасы 10,75 млрд т нефти, 4157 млрд куб. м газа). Расположенная на ее территории Маракайбская

НГП расположена на одноименной межгорной впадине. В разрезе структуры выделено 330 продуктивных горизонтов, а в пределах провинции более 60 месторождений. Более 50 % всех запасов нефти и газа размещаются на глубинах 1–3 км.

Австралия и Новая Зеландия в последние годы стали одним из значительных нефтегазодобывающих регионов мира. В 1970 г. запасы нефти составляли здесь 254 млн т (добыча 8,5 млн т) и газа 357 млрд куб. м. А в 2000 г. они возросли до 473 млн т (добыча 42 млн т) и газа 1557 млрд куб. м. На площади континента вместе с прилежащими акваториями выделяются Западноавстралийская, Центральноавстралийская, Гипсленд, Новозеландская и Карпентария-Папуа НГП, а также НГП Большого Артезианского бассейна. Большинство из них относятся к платформенным депрессиям восточной части континента, в основании которых зачастую размещаются рифтовые структуры.

Таким образом, схема размещения мировых нефтегазоносных площадей сложна. Общей чертой важнейших НГП является соотнесенность УВ с крупными депрессиями, в основании которых размещаются трансматериковые рифты, что характерно для Западносибирской, Северноевропейской, Аравийской, Примексиканской (вместе с Уочито и др.), Прикаспийской. Важную роль в геологии большинства этих провинций играют соленосные толщи и солянокупольные структуры, а также наличие других региональных покровов (например, верхнеюрско-валанжинской и туронско-палеогеновой в Западной Сибири). Наконец, далеко не все они еще в полной мере изучены и оценены, что позволяет предполагать существенные изменения в дальнейших построениях. Такая информация дополняется характеристической нефтегазоносных акваторий, которые пока еще слабо изучены и не имеют хороших и достоверных обобщений.

Нефтегазоносность Украины

Нефть на территории нынешней Украины начали добывать с 1771 г., а газ – с 1924 г. К настоящему времени извлечено более четверти их начальных ресурсов. Наиболее значительными темпами они начали осваиваться в послевоенные годы, когда были открыты большие по запасам месторождения на востоке и западе страны. Используемые ныне нефть и газ составляют более 40 % энергетического баланса страны. Вместе с тем, потребности государства в этих энергоносителях удовлетворяются лишь частично. Дефицит их компенсируется за счет импорта, что сдерживает промышленно-экономическое развитие Украины. Все это позволяет считать исследования в данной области весьма актуальными.

Материалы о нефтегазоносности Украины содержатся в огромном количестве публикаций. Среди последних нужно назвать 6-томный «Атлас месторождений нефти и газа Украины» (1998), более ранние выпуски подобных атласов (1974, 1984), обобщения Б.И. Маевского и др. (2002), а также исследования и обобщения по отдельным регионам страны, которые выполнялись Г.Н. Доленко, Н.И. Евдошук, В.А. Краюшкиным, В.С. Бойко, В.К. Гавришем, В.В. Глушко, Б.П. Кабышевым, А.Е. Лукиным, А.Н. Истоминым, А.В. Лизанцом, А.А. Лагутиным и др. В этих и других подобных работах содержатся справочные сведения об отдельных месторождениях и регионах, изучены закономерности размещения и вопросы

прогнозирования скоплений нефти и газа, схемы районирования и оценки перспектив.

По состоянию на середину 1990-х гг. в Украине выявлено 335 месторождений нефти и газа, которые сосредоточены в трех нефтегазоносных регионах: Западном, Восточном и Южном. Каждый из них характеризуется своими особенностями геологического строения, условиями и перспективами нефтегазоносности, структурой региона, историей его формирования. Общим для всех их является выгодное экономико-географическое размещение, развитая сеть шоссеиных и железных дорог, близость к большим промышленным центрам и хорошее кадровое обеспечение. В пределах страны существует разветвленная система газо-, нефте- и конденсатопроводов, которые соединяют месторождения с промышленными и бытовыми потребителями. Ими Украина объединена со многими государствами Европы и наибольшими западносибирскими месторождениями, что делает ее важной и мощной распределяющей и транспортирующей территорией.

Из трех основных нефтегазоносных регионов самым молодым по времени открытия месторождений и наибольшим по объемам разведанных запасов и прогнозируемым ресурсам является Восточный. Он представлен, главным образом, Днепровско-Донецкой нефтегазоносной областью, которая является частью Припятьско-Донецкой НГП. В тектоническом отношении область расположена в границах одноименной впадины, которая представляет собой составную часть сложной внутриплатформенной рифтовой системы, получившей название прогиба Большого Донбасса (Сарматского линеамента). Для данной области характерна большая мощность осадочного разреза (до 22 км в юго-восточной ее части), наличие девонских и пермских соленосных отложений. Здесь известно 205 месторождений нефти и газа; осадочный разрез включает 99 продуктивных горизонтов. Среди скоплений углеводородов преобладают природный газ (74 %) и нефть (около 19 %).

Первые проявления нефти в пределах области выявлены в предвоенные годы. Бурение было продолжено после войны, и открытие Шебелинского (1950) и Радченковского месторождений углеводородов резко активизировало поисково-разведочные работы. Уже в 1962 г. регион давал большую часть добываемой в Украине нефти, а с 1964 г. — и газа. Объемы глубокого бурения возрастали и достигли максимума в 1967 г.; именно с этого времени поисково-разведочные работы были переориентированы на глубины 3–5 км. В процессе изучения и разработки месторождений области были выявлены особенности строения впадины (несоответствие структурного плана палеозоя и мезозоя, характер краевых разломов рифта, выявление зон аномально-высоких пластовых давлений и др.); с 1970 г. начата промышленная оценка малоамплитудных поднятий, выявление ловушек неантиклинального типа. С конца 1980-х годов приступили к освоению северного борта Днепровско-Донецкой впадины. Районирование области предусматривает выделение полутора десятков нефтегазоносных районов, разных по степени изученности, особенностям геологического строения, значимости и перспективам. Среди них Машевско-Шебелинский, Талалаевско-Рыбальский, Глинско-Солоховский и др.

Высокая степень изученности Днепровско-Донецкой НГО, большой опыт проведения поисково-разведочных работ и другие данные позволя-

ют положительно оценивать перспективы этой части региона. В числе дальнейших задач предусмотрены рекомендации по увеличению глубин бурения, изучение нефтегазоносности подсоляноштоковых зон, а также поднадвиговой зоны Донецкого складчатого сооружения (ДСС). Большой самостоятельной проблемой становится оценка промышленной газоносности открытого Донбасса. Ставится также вопрос об изучении углеводородных скоплений в породах фундамента. К 2001 г. выявлено 8 таких месторождений с промышленными притоками из кор выветривания, зон разуплотненных пород. Наиболее перспективным для области и Украины в целом принято считать освоение глубокозалегающих горизонтов центральной и юго-восточной части Днепровско-Донецкой впадины (на глубинах 5–7 км), что обосновано в работах В.М. Бенько, А.В. Лизанца, А.А. Лагутина и др.

Западный нефтегазоносный регион включает Предкарпатье, Закарпатье, Восточные Карпаты и Вольно-Подолию. В структурно-геологическом отношении он соответствует краевому прогибу, складчатому сооружению, межгорной впадине и Вольно-Подольской плите. Регион состоит из двух принципиально различных по своему строению провинций: Балтийско-Предбурджинской (обширная Балтийско-Приднестровская система прогибов, окаймляющая Восточно-Европейскую платформу), и украинской части Карпатской провинции. В его пределах принято выделять Бориславско-Покутскую, преимущественно нефтеносную, отвечающую Внутренней зоне прогиба, и существенно газоносную Бильче-Волицкую зоны. Здесь насчитывается 85 месторождений нефти и газа.

Именно с этим регионом связывается начало промышленного освоения нефти и газа в Украине. В 1771 г. при углублении соляной шахты возле Слободы Рунгурской (Ивано-Франковская область) с глубины 24 м была получена нефть. В 1850–1870-е гг. в разработку были введены Бориславское, Сходницкое, Битков-Бабченковское и другие месторождения. В 1909 г. добыча нефти достигла почти 2 млн т, что составляло 5 % от мировой; опережали ее только Россия и США. В предвоенные годы она снизилась и начала возрастать лишь после 1950-х гг, после введения в эксплуатацию Долинского, Северо-Долинского и Битков-Бабченковского месторождений. Промышленные притоки природного газа были получены в 1912 г. (Калуш) и 1921 г. (Дашава), а с 1924 г. Дашавское месторождение введено в эксплуатацию. Возрастание объемов газодобычи в регионе связано с открытием в послевоенные годы Угерского, Бильче-Волицкого и Рудковского месторождений.

Перспективы поисков скоплений углеводородов в Западном регионе, несмотря на длительную историю его изучения и освоения, и сейчас остаются актуальными. На нынешней стадии исследований особую важность имеет расшифровка геодинамики формирования нефтегазоносных площадей и поиски структур, благоприятных для скопления и сохранения залежей. Особо большие перспективы связываются с выявлением поднадвиговых зон. В Карпатской провинции за два последних десятилетия XX ст. открыто 36 новых месторождений, из которых 23 газовых и 13 нефтяных; эти результаты получены в основном в Бильче-Волицком и Бориславско-Покутском нефтегазоносных районах. Вместе с тем, высокоперспективной и пока еще недостаточно изученной остается Карпатская область. Все это позволяет

рекомендовать проведение на площади региона сейсморазведочных работ, параметрического и поисково-разведочного бурения, целенаправленных структурно-геологических исследований.

Южный нефтегазоносный регион охватывает Западное и Северное Причерноморье, Северное Приазовье, Крымский п-ов, Черное и Азовское моря (в границах экономической зоны Украины). В структурно-геологическом отношении он отвечает Предобруджинскому прогибу, Причерноморской впадине, Скифской плите, западной окраине Индоло-Кубанского прогиба и северного склона глубоководной впадины Черного моря. В пределах региона принято выделять Причерноморско-Крымскую, Предобруджинскую Индоло-Кубанскую, Азовско-Березанскую и Черноморскую перспективную области, которые входят в состав разных нефтегазоносных провинций и имеют в своем составе обычно по 2–3 нефтегазоносных или перспективных района.

Предполагается, что история освоения региона начата в глубокой древности (находки амфор с нефтью в могильниках Боспорского царства и др.). Первые неглубокие скважины в местах выхода нефти существенных результатов не дали, но в 1864 г. на отдельных площадях созданы небольшие нефтепромыслы, где производилась ее добыча. В предвоенные десятилетия добыча была возобновлена, но основные работы велись лишь на востоке Крыма. В послевоенные годы возрастают темпы работ, и поиски нефти ведутся на новых площадях Равнинного Крыма, Северного Причерноморья. С начала 1970-х гг. на северо-западном шельфе Черного моря был подготовлен ряд структур, а в 1975 г. на поднятии Голицына получен первый фонтан нефти. В настоящее время на Черноморском шельфе уже открыто восемь (в том числе четыре средних), а на Азовском шесть газовых месторождений; функционирует морской газопровод.

Перспективы нефтегазоносности Южного региона связываются, в первую очередь, с изучением и освоением прилежащих акваторий Азовского и Черного морей. Малые глубины Азовского моря и незначительная глубина залегания нефтегазоносных комплексов (до 3000 или даже до 1000 м) делают этот район вполне доступным для дальнейшего освоения. В северо-западном шельфе Черного моря известно 276 структур, из которых 214 – перспективны. На Керченско-Таманском шельфе Черного моря, где глубины не превышают 100 м, сосредоточено примерно три четверти перспективных структур; глубины наибольшей локализации ресурсов определяются величинами в 1000–3000 м.

Вопросы разработки, транспортировки и рационального использования газа в Украине тесно связаны с формированием подземных его хранилищ (ПХГ). Газотранспортная система страны является одной из мощнейших в мире – как по объему транзита газа, так и по протяженности, которая включает 36,7 тыс. км газопроводов, 72 компрессорные станции, систему газораспределительных и газоизмерительных станций и подземных хранилищ. Она выполняет функции обеспечения природным газом внутренних потребителей, а также транзита российского газа (около 90 %) в 19 стран Центральной и Западной Европы. В настоящее время на территории Украины – 13 ПХГ; их создание начато с 1964 г. Они размещаются как в отработанных газовых и газоконденсатных месторождениях (11), так и в водоносных пластах локальных структур (2). При существующих объемах

сохранения газа комплекс ПХГ обеспечивает 20–25 % годового и около 30 % суточного его потребления. По своим показателям комплекс занимает третье место в мире (после США и России).

Функционирование нефтегазового комплекса Украины от прогнозов, поисков, разведки и до добычи и переработки осуществляется за счет собственных геологических и инженерно-технических кадров. Их готовит Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, с недавнего времени Национальный технический университет «ХПИ», а также факультеты геологического профиля Киевского, Львовского, Харьковского и Одесского университетов, специализированные техникумы Полтавы, Киева, Дрогобыча. Вопросы геологии нефтегазовых месторождений разрабатываются и решаются в системе специализированных и академических институтов – Институте геологических наук НАНУ (Киев), Институте геологии и геохимии горючих ископаемых НАНУ (Львов), Институте геофизики НАНУ (Киев), УкрГГРИ (Чернигов), УкрНИИГазе (Харьков), Институте «Шельф» (Симферополь) и др. Вместе с вузами эти НИИ создали мощную и известную далеко за пределами страны украинскую нефтегазовую школу. Действует Украинская нефтегазовая академия (УНГА). Специализированные буровые и другие работы осуществляют буровое управление «Укрбургаз» (Красноград, Харьковская область), «Укр-геофизика» (ГПП) и др.

Геологические условия размещения

Важной особенностью нефтегазовых скоплений, как уже неоднократно подчеркивалось, является неравномерный характер их территориального размещения. Абсолютное большинство выявленных запасов сосредоточено в пределах относительно небольшого количества месторождений. Анализ геологического строения и условий размещения нефти и газа в нефтегазоносных провинциях мира дает, по Б.И. Маевскому и др. (2002), основания для таких выводов.

Основные их ресурсы (около 70 %) находятся в пределах платформенных структур. Наиболее значительные нефтегазоносные провинции приурочены к склонам платформ, граничащих с подвижными поясами и областями. Среди них выделяют четыре основных типа: окраинные впадины (Примексиканская, Прикаспийская, Сахарская, Арктическая), перикратонные прогибы, которые развиваются на границе платформ и геосинклиналей (Аравийская плита, Западноканадский кратон), узловые глубокопогруженные впадины с корой субокеанического типа в центральной своей части (впадины Мексиканского залива, Причерноморская, Западносибирская), периокеанические грабеновые впадины (впадины западного побережья Африки, впадины Сирта, Гипсленд и др.).

В нефтегазоносных провинциях подвижных поясов, которые испытали инверсию, залежи разрушаются более интенсивно. Поэтому наибольшие ресурсы размещаются в тех впадинах и прогибах, которые расположены на периферии миогеосинклинальных зон и систем (относительно малая подвижность, отсутствие магматизма или незначительное его проявление). Абсолютное большинство (свыше 99 %) выявленных скоплений нефти и газа относится к осадочным породам. Основные запасы нефти (более 80 %) тяготеют к крупным тектоническим зонам распада суперконтинентов

в мезозое–кайнозое (к Персидско-Средиземноморской, Мексиканско-Карибской и Зондской).

Основные запасы нефти сосредоточены в 330 месторождениях с запасами более 70 млн т каждое. Еще около 30 % их запасов находится в других (их более 10000) месторождениях. Большинство нефтяных супергигантов (66 %) связаны с мезозойскими отложениями, преимущественно юрскими и меловыми, и около 26 % – с кайнозойскими отложениями. Скопления нефти и газа в разрезе земной коры выявлены во всех стратиграфических подразделениях, хотя распределение их ресурсов по отдельным комплексам и в разных провинциях неодинаковы и могут существенно различаться, что зависит от палеогеографических и палеотектонических условий времени их накопления.

Каждая нефтегазоносная провинция в разрезе своих осадочных образований содержит несколько литолого-стратиграфических комплексов, которые характеризуются региональной нефтегазоносностью. Они могут быть представлены как терригенными, так и карбонатными образованиями, обычно морского или лагунного происхождения. Вместе с тем, каждый из таких нефтегазоносных комплексов не везде содержит залежи. Их скопление контролируется наличием коллекторов, важнейшие среди которых терригенные и карбонатные (до 40 %). Обязательным условием формирования и сохранения нефтегазовых скоплений является наличие в разрезах непроницаемых толщ флюидоупоров (покрышек), представленных глинистыми, галогенными и карбонатными породами.

С конца XX ст. начинается развитие добычи нефти и газа на морских глубинах. По подсчетам специалистов, в акваториях, преимущественно на подводных окраинах континентов, содержится 1/2 мировых запасов нефти и 2/3 запасов газа. Главными особенностями таких скоплений является их связь с рифтами и отнесенность большинства запасов к пассивным окраинам континентов. Рифтовые системы шельфовых зон заполнены мощными толщами осадков и характеризуются повышенной прогреетостью и нефтегазоносностью недр. Пассивные окраины континентов представляют собой реликты бывших мощных рифтовых систем, развитие которых обуславливало раскрытие океанов.

Для формирования зон максимальной концентрации запасов нефти и газа, кроме всего прочего, наиболее благоприятны те области, которые в течение изученного геологического времени характеризовались сравнительно высокими параметрами палеогеотермического градиента и повышенными тепловыми потоками. В процессе тектоно-магматической активизации рифтогенных бассейнов формируются пути для вертикального перемещения высокотемпературных газофлюидных потоков, которые выступают как фактор тепломассопереноса и катагенеза органического вещества, а также извлечения из них «зрелых» нефтяных углеводородов и перенесения в породы–коллекторы и ловушки.

Наличие углеводородных компонентов в трещинных и вторичных пустотах практически по всему разрезу нефтегазоносных регионов указывает на их вертикальную миграцию и «сквозное» распределение от фундамента до приповерхностных проявлений разнообразных форм и масштабов. В разных нефтегазоносных регионах выявлены «столбообразные» зоны, которые образовались в результате движения глубинных флюидов, рассекающих стратиграфические и формационные комплексы.

Одинокие скопления нефти и газа в земной коре не встречаются. Они обычно группируются в зоны нефтегазонакопления, которые могут относиться: 1) к региональным поднятиям типа валов на платформах и антиклинариях в переходных и складчатых областях; 2) к зонам регионального выклинивания отдельных литолого-стратиграфических комплексов, а также местам замещения проницаемых песчаных или карбонатных толщ непроницаемыми глинистыми или другими образованиями на склонах больших поднятий (сводов), впадин и моноклиналей; 3) к площадям развития рифовых или солянокупольных структур, региональных разрывных нарушений, тектонической трещиноватости; 4) к погребенным песчаным прибрежным валам и дельтам палеорек; 5) к зонам регионального развития стратиграфических несогласий.

В последнее время намечается еще одна интересная закономерность размещения углеводородов: наиболее крупные их скопления находятся на площадях пересечения разновозрастных материковых рифтов (Соловьев, Кривуля, Фык, 2010). Такое явление фиксируется в пределах Туранской плиты, Западной Сибири и ее северо-западного продолжения, нефтегазонаосной провинции Северного моря, Северо-Китайского нефтегазонаосного бассейна, Мексиканской впадины, Днепровско-Донецкой впадины и многих других регионов. Приводятся определенные обоснования подобного явления. Это обычно площади с максимальной мощностью осадочного разреза. Кроме того, сами условия формирования материковых рифтов позволяют предполагать условия сжатия на стадии воздымания, расчленения литосферы и последующие расколы и проседания при образовании рифтов, что содействует возрастанию трещиноватости вмещающих углеводороды отложений.

Зоны нефтегазонакопления объединяются в отдельные области, которые на всех континентах приурочены к определенным геоструктурным элементам платформенных, складчатых или переходных областей. На платформенных площадях это сводовые поднятия, линейно вытянутые мегавалоподобные поднятия типа кряжа Карпинского или кряжа Немаха (США), окраинных впадины, внутриплатформенные поднятия, перикратонные прогибы, периокеанические грабенообразные впадины. На площадях складчатых областей они приурочены к межгорным впадинам и срединным массивам, зонам регионального погружения складчатых сооружений, а на переходных площадях — к предгорным прогибам.

Формирование нефтегазовых месторождений гигантов и супергигантов в пределах отдельных геоструктурных элементов земной коры обусловлено совокупностью ряда взаимосвязанных факторов. Главными среди них являются: 1) наличие крупных структурных или литологических региональных и локальных ловушек, благоприятных для локализации углеводородов; 2) наличие в разрезе осадочных образований региональных нефтеносных толщ, которые характеризуются высокими коллекторскими свойствами и большими мощностями; 3) наличие газонепроницаемых выдержанных толщ—покрышек над продуктивными литолого-стратиграфическими комплексами, которые обеспечивают сохранение сформировавшихся залежей нефти и газа в последующие этапы геологического развития; 4) преобладание движений устойчивого прогибания в период накопления литолого-стратиграфических комплексов, к которым приурочены региональные нефтегазонаосные комплексы; 5) размещение таких районов вблизи

крупных впадин, откуда углеводороды будут мигрировать в зоны прилежащих поднятий.

Основные направления нефтегазопроисковых работ

Особенностью и тенденцией поисково-разведочных работ на нефть и газ в конце XX – начале XXI ст. является их проведение в регионах с особенно трудными условиями изучения. Большинство нефтегазоносных регионов мира характеризуются высоким уровнем геолого-геофизической изученности, особенно до глубины 4–4,5 км. Это обуславливает необходимость выявления новых перспективных направлений нефтегазопроисковых работ, прежде всего, в районах с нестандартными геологическими условиями. Главными среди них являются следующие.

Поиски и разведка нефти и газа в акваториях морей и океанов. Свыше 100 стран имеют такие перспективные площади, более 70 из них ведут работы на море. Из находящихся под водой площадей наиболее перспективными в нефтегазоносном отношении являются континентальные шельфы, где планируется проведение таких работ на глубине 300 и более м. Ныне на акватории приходится около 25 % разведанных запасов углеводородов и 55 % прогнозируемых ресурсов.

Поиски и разведка скоплений нефти и газа на больших глубинах. Такое явление становится вполне естественным, и его можно наблюдать уже в районах известных нефтегазоносных площадей. Это, конечно, сдерживает проведение соответствующих работ. В США открыто более 500 залежей на больших глубинах (свыше 4500 м). Среди стран СНГ на первом месте по показателям глубинного бурения находится Украина, где в пределах Днепровско-Донецкой впадины и Предкарпатья сосредоточено около 600 сверхглубоких скважин. Опыт показывает, что поиски нефти и газа на больших глубинах следует прежде всего проводить на тех структурах, в разрезе которых уже выявлены залежи в вышележащих толщах.

Весьма перспективным является проведение поисков нефти и газа в районах развития соленосных отложений. Соляные пласты являются обычно идеальным флюидоупором (покрышкой), под которым возможно скопление углеводородов. Кроме того, важную роль имеет локализация залежей нефти над соляными штоками и по их периферии. Подтверждением такого положения служат данные о том, что около 60 % мировых запасов нефти и газа относятся к бассейнам с соленосными отложениями. Фактором, который усложняет освоение таких районов, являются трудности проведения на них сейсмических работ, частое несоответствие надсолевого и подсолевого структурных планов, сложность проходки скважин через мощные соленосные толщи, наличие аномально высоких пластовых давлений.

Поиски нефтегазовых скоплений в рифогенных сооружениях начинают играть все большую роль в мировом балансе запасов. Месторождения нефти и газа связаны обычно с карбонатными коллекторами (рифовые массивы и рифовые фации). Биогенные сооружения часто образуют самостоятельные зоны нефтегазонакопления, которые сложены разными по размерам и морфологии постройками, обычно являющимися продуктивными. Для таких образований характерна высокая нефтеотдача (до 55–65 %) и значительная эффективная мощность пластов–коллекторов. Не исключено,

что такая значимость данных сооружений обусловлена и тем, что рифовые постройки обычно размещаются в зонах крупных разрывных нарушений.

Поиски литологических и стратиграфических залежей нефти и газа, относящихся к группе неантиклинальных, дают зачастую хорошие результаты на склонах покровов и впадин, иногда валов, или склонах значительных локальных поднятий. Во всех этих случаях наблюдается выклинивание вверх по склону пластов—горизонтов, обычно терригенных отложений. Особенно высокие результаты дало их изучение во многих районах Северо-Американской платформы, где открытие новых месторождений достигало 40 или даже 60 %. Более 20 нефтяных и 5 газовых месторождений из числа крупнейших в мире связаны именно с неантиклинальными ловушками. Главными геологическими условиями существования таких ловушек является наличие перерывов в осадконакоплении, перекрытых покровышками, неоднородность пластов—коллекторов, выклинивание и срезание продуктивных горизонтов или причленение их к тектоническому экрану. Для поисков таких ловушек важную роль имеет составление литолого-фациальных и палеоморфологических карт, проведение палеогеографических и палеотектонических реконструкций.

Поиски нефти и газа в древних толщах (верхний протерозой—нижний палеозой) принято было считать мало перспективными. Обосновывалось это недостаточным количеством в них органического вещества, недостаточно хорошими коллекторскими свойствами. Все это сдерживало проведение таких поисково-разведочных работ. Сейчас во всех углеводородных толщах докембрия выявлены жидкие, твердые и газообразные промышленные скопления углеводородов нефтяного ряда. То же относится к поискам скоплений нефти и газа в континентальных красноцветных отложениях. Уже на всех континентах в них выявлены залежи, хотя их общие запасы пока не превышают 2—3 % известных.

Поиски скоплений нефти и газа в кристаллических породах фундамента пока специально не проводились. Вместе с тем, по данным В.А. Краюшкина в мире известно 270 месторождений, запасы которых полностью или частично связаны с такими образованиями. Геологическими объектами поисков в породах фундамента могут быть его коры выветривания, зоны дробления и повышенной трещиноватости вблизи региональных разломов, а также зоны разуплотнения, дезинтеграции и выщелачивания пород. Обоснование таких работ активно проводится в условиях Украины, что связано с широко распространенными у нас представлениями о возможном неорганическом происхождении углеводородов. Кроме того, важную роль в прогнозировании нефтегазоносности играет именно разломно-блоковая тектоника, что подтверждается преимущественно вертикальной зональностью углеводородов, нахождением скоплений нефти и газа в нижних горизонтах осадочного чехла, «сквозным» характером строения большинства месторождений. Все это позволяет целенаправленно ориентировать их поиски в таких структурах.

Происхождение нефти и газа

Нефть и углеводородные газы являются генетически родственными образованиями, сформировавшимися из общего исходного материала или из единых глубинных зон Земли. Знания об их происхождении имеют не

только теоретическое, но и прикладное значение, поскольку в ряде случаев определяют направления поисково-разведочных работ. Различные гипотезы были предложены более сотни лет назад; сейчас общее количество таких гипотез достигает нескольких десятков. Основным предметом таких споров являются представления об органическом или неорганическом происхождении нефти и газа.

Одну из первых гипотез органического происхождения углеводородов (нефти) высказал еще М.В. Ломоносов, предполагавший, что они образованы за счет подземной перегонки угля и торфа. Позднее более предпочтительными стали гипотезы о формировании углеводородов за счет преобразования асфальто-смолистых (битумных) природных компонентов. Их трансформация осуществляется в условиях высоких температур и давлений глубинных зон Земли, а также в результате деятельности бактерий, катагенетических процессов. Среди ученых, активно развивавших такие представления, нужно назвать К. Энглера, И.М. Губкина, В.И. Вернадского, А.Д. Архангельского, А.А. Бакирова, Н.Б. Вассоевича, А. Леворсена, В. Линка, Б. Тиссо, А.А. Трофимука, И.В. Высоцкого и др.

В группе этих гипотез важное место занимали представления о миграции органического вещества: образовалось ли оно в данных породах или претерпело значительные перемещения; так появились понятия о нефтематеринских отложениях. Обсуждался также вопрос о том, мигрировали углеводороды самостоятельно или вместе с водой. Каждая из развиваемых гипотез приводила сильные аргументы, но у них существовали и уязвимые места.

Первая научная гипотеза неорганического происхождения нефти и газа была сформулирована Д.И. Менделеевым (1877); она получила название карбидной, так как предполагала образование углеводородов за счет реакции подземных вод с углеродом, имеющимся в карбидах металлов. Появились также представления о поступлении углеводородов из вулканических эманаций, первичном космическом образовании углеводородов и ряд других. Всю эту группу взглядов развивали А. Гумбольдт, М. Бертелло и др. Интересно, что глубинные неорганические гипотезы активно развиваются преимущественно отечественными геологами (П.А. Кудрявцев, 1951; П.Н. Кропоткин, 1955; В.Б. Порфирьев, 1961; В.А. Краюшкин, Г.Н. Доленко, А.И. Кравцов и др.).

Основные аргументы в пользу неорганического происхождения нефти и газа: 1) существование некоторого количества залежей углеводородов и значительного количества нефтегазопроявлений в кристаллических породах фундамента; 2) часто наблюдаемая связь или пространственная приуроченность месторождений к зонам глубинных разломов; 3) экспериментальные лабораторные исследования, в ходе которых в условиях высоких температур и давлений синтезированы нефтеподобные углеводороды и углеводородные газы из неорганических соединений. Вместе с тем, углеводороды, полученные таким путем, не обладают рядом свойств, присущих природной нефти; они не содержат биомаркеров, не обладают оптической активностью и др. Критике концепции неорганического происхождения нефти и газа посвящена обширная литература; при этом сторонники органической теории не отрицают возможности синтеза некоторых углеводородов или какой-то ее части в природе неорганическим путем.

Генезис углеводородов предполагает развитие осадочно-миграционной теории происхождения нефти и газа, которая трактуется как современный вариант органической концепции. Основными аргументами в ее пользу являются: 1) соотнесенность подавляющей части объемов промышленных скоплений углеводородов к осадочным образованиям (99,9 %); 2) отнесенность наибольших ресурсов углеводородов к отложениям периодов и эпох, характеризующихся максимальным расцветом жизни — мел, карбон и др.; 3) содержание в нефти биомаркеров или микрофоссилий, то есть сложных органических соединений, характерных для живого вещества, но не образующихся при неорганическом синтезе УВ (фитан, пристан, стераны, порфирины); 4) оптическая активность нефти, связанная с наличием асимметричных молекул биогенного происхождения; 5) близкое сходство изотопного состава основных элементов нефти с изотопным составом битумной части рассеянного в породах органического вещества и их отличие от изотопного состава неорганических компонентов.

Важнейшим положением теории осадочно-миграционного происхождения нефти и газа является понятие и учение о нефтегазоматеринских (нефтегазогенерирующих) отложениях — свитах, комплексах, толщах. Таким термином называются осадочные образования различного литологического состава (глинистые, карбонатно-глинистые, кремнисто-глинистые) пелитовой структуры, накапливающиеся в субаквальной среде с анаэробной геохимической обстановкой и условиями относительно устойчивого погружения участка земной коры, содержащие в повышенных концентрациях захороненное органическое вещество (0,5–5 % и более), способное генерировать и отдавать в коллекторы жидкие и газообразные углеводороды.

Факторами преобразования захороненного органического вещества (ОВ) являются деятельность бактерий (в зоне диагенеза), возрастающая с погружением пластовая температура, каталитическая активность глинистых минералов, гидрогенизация ОВ. Гумусовое органическое вещество на всех стадиях постседиментационного преобразования (диагенез, протокатагенез, мезокатагенез, апокатагенез) генерирует в основном газообразные углеводороды. Сапропелевое ОВ на стадии диагенеза генерирует в основном газообразные углеводороды, а на стадии мезокатагенеза — жидкие (нефть).

Рассматривая условия происхождения нефти и газа, необходимо учитывать, что это достаточно сложная смесь углеводородов, позволяющая утверждать, что одинаковой нефти нет. Вместе с тем, состав нефти сходен — она состоит из 82–87 % углерода и 11–15 % водорода. Образования эти распространены в широком стратиграфическом диапазоне, в отложениях практически любого возраста. Подавляющая часть органического вещества и углеводородов встречается в осадочной оболочке Земли; некоторое количество соединений углерода и водорода продуцируется организмами уже в настоящее время. В нефти обнаружено множество остатков животных и растительных организмов, спор, водорослей, грибов и др.

Вместе с тем, даже в условиях преобладающих представлений об органическом генезисе данных углеводородов исключать какое-то их количество с неорганическим происхождением не следует. В пользу этого свидетельствуют их находки в кристаллических породах фундамента. Нефтегазообразование представляет собой сложный непрекращающийся природный

процесс в геологической истории стратисферы, расшифровка которого продолжается.

Перспективы дальнейшего обеспечения энергоресурсами

Развитие геологии нефти и газа требует не только рассмотреть возможности наращивания запасов и ресурсов углеводородов, которые по нынешним оценкам и с учетом роста к ним дальнейшего интереса оцениваются как недостаточные для длительного обеспечения человечества, но и уточнить возможную их замену, напомнить об альтернативных энергетических источниках недр. Речь идет о какой-то замене традиционных нефтегазовых скоплений конкурирующими формами энергетики, частичном их дополнении. Тем более что над такими вопросами человечество задумывается уже давно.

Одним из таких направлений принято считать возможность использования тепла недр. Исследованием в этом плане занимается специальная наука, получившая название геотермики или геотермии. Она изучает тепловой режим Земли, связанный в данном случае с внутренними источниками тепла. Обоснование существования геотермической ступени и геотермического градиента, непрерывного повышения температуры с глубиной, делает его очень привлекательным. Изучение площадей такого фактора показывает, что в отдельных местах данный показатель может резко возрастать. Например, в рифтовых зонах современных акваторий, в районах вулканизма и др. В целом же перемещение площадей такого тепла к заинтересованному потребителю вызовет определенные сложности. И пока примеры подобного использования ограничиваются лишь его применением в Исландии и других сравнительно небольших регионах для местных нужд.

Вместе с тем детальная изученность геотермических условий Украины позволяет положительно оценивать возможность использования подобных энергоресурсов не только в пределах молодых складчатых сооружений (Карпаты, Горный Крым), но и на юго-востоке Днепровско-Донецкой впадины. Разрабатывается схема, согласно которой на отработанных месторождениях имеется возможность использовать уже пробуренные и близко расположенные скважины, в одной из которых на поверхность будут извлекаться нагретые подземные воды, а после получения их тепла можно закачивать эти же воды через соседнюю скважину при наличии взаимосвязи между такими скважинами, которая может быть создана искусственно.

Уже с начала XX ст. активно изучалась возможность использования газов угольных месторождений. Такие исследования проводились по разным направлениям – продуктивно использовать шахтные газы, приводящие зачастую к катастрофическим взрывам в шахтах при добыче угля, для местных нужд, уменьшения риска таких работ, а также разработки глубоко залегающих углей путем подземного сжигания и использования угарного газа CO. От такой схемы уже отказались, но она изучалась. Подсчитаны запасы и ресурсы шахтных газов в Донбассе, которые позволяют высоко оценивать возможности их использования. Остановка только за техническими средствами такой разработки и крупными финансовыми вложениями. Пока целенаправленное изучение и схема извлечения шахтных газов осуществлены лишь в США. Интересно, что уже в 2009 г. эта страна стала мировым лидером извлечения метана из угольных пластов: метан

составляет около 25 % годовой добычи. Украина и другие страны ведут переговоры с Соединенными Штатами по использованию их технологии такой разработки.

В последние годы резко возрос интерес к сланцевому газу; начали даже говорить о сланцевой революции, о практически неограниченных его возможностях, способных при определенных геологических условиях решить проблему долгосрочного обеспечения человечества этими углеводородами. Появилось большое количество публикаций на эту тему — от нескрываемых восторгов до очень серьезных опасений с позиции экологических последствий разработки или экономических показателей его получения.

История освоения сланцевого газа, содержащегося в горючих сланцах, и интереса к нему достаточно обширна и обычно мало известна. Сланцевым газом называют природный газ, добываемый из сланцевых пород, который состоит преимущественно из метана. Первая коммерческая газовая скважина в сланцевых породах была пробурена в США в 1821 г. Однако с началом активного промышленного освоения нефти, а затем и природного газа из обычных нефтегазовых месторождений интерес к сланцевому газу был практически потерян. Вспомнить о горючих сланцах как источнике энергоресурсов заставил нефтяной кризис 1970-х гг. Но технологии добычи 1980-х гг. не позволяли сделать этот процесс экономически рентабельным. Масштабное промышленное производство сланцевого газа было начато в США лишь с начала 2000-х гг. И уже в 2009 году добыча его в этой стране составила 14 % от всего извлекаемого горючего газа.

Технология добычи сланцевого газа является своеобразной, и пока она хорошо разработана лишь в США. Для его получения производят бурение вертикальной скважины с системой ее последующих горизонтальных разветвлений на глубине, гидроразрыв пласта и продвинутое сейсмическое моделирование. Эффект гидроудара создается за счет закачивания в такие скважины воды, песка и химикатов. Хотя сланцевый газ содержится в недрах в небольшом количестве, но за счет вскрытия больших площадей и уже отработанной процедуры бурения можно получать значительные его объемы. Тем более что вполне определенные результаты уже достигнуты.

Было установлено, что кроме США скопления горючих сланцев, из которых можно получать газ, имеются в Австралии, Индии, Китае, Канаде. В пределах Европы крупные скопления сланцев обнаружены или известны в Австрии, Венгрии, Германии, Польше, Швеции, Украине. Сообщалось, что в Польше планируется начать их специальное изучение и освоение уже с 2010 г. Зарубежные источники утверждают, что бурение для изучения и освоения сланцевого газа ведется в Швеции и Украине. В Европе такое направление деятельности встречает довольно активный протест, что обусловлено экологическими опасениями. В марте 2011 г. у нас сообщалось об официальных переговорах нашей страны и США о начале совместной разработки сланцевых и метановых газов на наших угольных месторождениях. Интерес к освоению сланцевых газов проявлен и в России.

Горючие сланцы образуют на территории Украины мощные залежи; их общие прогнозируемые запасы оцениваются цифрой порядка 600 млрд т. Наиболее крупные скопления этого энергетического сырья находятся в Болтышской впадине, расположенной на территории Кировоградской и Черкасской областей. В ее разрезе выделяется 5 горизонтов мощностью

2–40 м, залегающих на глубине 180–500 м. Содержание керогена в этих сланцах составляет 30–40 %, выход смол – 10–20 %, зольность 50–60 %, теплота сгорания – 10–16 МДж/кг. Запасы горючих сланцев, залегающих на глубинах 30–375 м, составляют 3 млрд т. Скопления горючих сланцев выявлены также в ДДВ, Вольно-Подольской плите, Крымских горах и Карпатах. Важным резервом такого энергетического и химического сырья Украины являются мелелитовые сланцы из палеогена Предкарпаття, которые представляют собой высокозольную разновидность горючих сланцев.

Еще одним перспективным энергетическим сырьем могут быть гидраты природного газа, газогидраты. Выявленное в 1969 г. первое газогидратное месторождение Мессояха в Заполярье (Западная Сибирь) было введено в эксплуатацию. Большое значение для выявления и изучения газогидратов имели исследования в течение 1968–1983 гг. дна Мирового океана буровым судном «Гломар Челленджер». В частности, глубоким бурением с этого судна в 1975 г. была установлена высокая перспективность акватории Черного моря для поисков этого энергетического сырья. Пока технология их добычи не разработана, перспективы не определены; большие опасения вызывают экологические последствия такой деятельности. Но факт наличия на дне океанов и морей кристаллического вещества, состоящего из молекул углеводородов и воды, позволяет прогнозировать новый вид сырья для энергетического обеспечения в далекой перспективе.

Очень велики запасы углей, которые, по подсчетам специалистов, могут обеспечить человечество на несколько веков. Это трудно извлекаемое сырье, сложный для транспортировки продукт. Тем не менее, получаемый из угля кокс является основным неизменным элементом современной металлургии. А мировые запасы углей и угольных бассейнов Украины достаточно велики. Поэтому о замене в Украине углеводородов углями речь может идти только в тех областях, где он является приемлемой альтернативой (металлургия и др.), а также с целью снизить в стране непомерные расходы газа.

Атомные станции после взрыва на Чернобыле мы побаиваемся строить. Хотя сейчас приходим к выводу, что это самый надежный источник энергии, широко используемый в Европе. Но только при соблюдении правил техники безопасности. В перспективе для местного энергоснабжения важную роль может играть использование биологического топлива (биотоплива), активно используемого во многих странах, энергии ветра и солнца. И, естественно, разработка энергосберегающих технологий, что для нашей страны является весьма актуальным. Формально это выходит за рамки профессиональной компетенции геологии, но мы должны хорошо понимать современную роль углеводородов в энергообеспечении.

Приведенная очень краткая обзорная информация имеет целью показать, что серьезной замены нефти и газу на современном этапе пока нет. Специалисты подчеркивают, что на два-три ближайших десятилетия альтернативы газу пока не предложено. Вместе с тем, изучение процесса получения сланцевого газа и газа угольных месторождений по своей технологии близко к добыче нефтегазовых углеводородов, что позволит в дальнейшем использовать имеющиеся знания при получении и этих энергоресурсов, если они будут осваиваться. Сейчас пока достаточно только самых общих знаний в этой области.

16. ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

Инженерной геологией (ИнГ) называют отрасль геологии, наук о Земле, или самостоятельное научно-техническое направление, изучающее грунты, геологические условия и динамику верхних горизонтов земной коры в связи с инженерно-технической деятельностью человека (главным образом, строительством, созданием гидротехнических сооружений, их эксплуатацией), а также прогнозированием возможных обстановок и последствий, разработкой рекомендаций по их рациональному использованию. На основании исследований ИнГ определяют наиболее благоприятные места для планируемого строительства, мероприятия по укреплению устойчивости таких сооружений, количественные расчеты для возможных нагрузок. В рамках ИнГ решается большой круг вопросов охраны геологической среды как части экологической системы; она играет ведущую роль в системе литомониторинга.

Термин вошел в практику деятельности в 20–30-х гг. XX ст., хотя опыт использования таких знаний насчитывает уже несколько тысячелетий. Близким к нему понятием является техническая геология. Исходя из выполняемых задач и необходимости получения нужных в этой области знаний, структуру ИнГ принято разделять на грунтоведение, инженерную геодинамику, региональную ИнГ. Можно также выделять специальную ИнГ, которая включает строительство и решение специальных вопросов в подводных условиях (морская ИнГ), в районах многолетней мерзлоты, повышенной сейсмичности, в грунтах, подверженных негативному воздействию подземных вод (карст, оползни и др.).

ИнГ опирается на знания многих других наук — математики, физики, механики, химии, географии, пользуется достижениями различных технических наук и методов. ИнГ базируется на изучении вещества земной коры (минералогия, петрография), условий формирования рельефа (геоморфология), получении знаний о природных процессах геологической среды (динамическая геология), структурно-геологической информации (данные о региональных разломах, трещиноватости и др.), геологии четвертичных отложений и почвоведения. Поскольку зачастую инженерно-геологическая деятельность сопровождается техногенным изменением рельефа, меняющим природные процессы, или в процессе ее проведения используются новые нестандартные решения, ИнГ сталкивается иногда с совершенно новыми и неожиданными для нее вопросами (замораживание грунтов и другие формы искусственного литогенеза, подземные взрывы, литомониторинг).

Особо следует остановиться на методах ИнГ, достаточно разнообразных и многочисленных. Основными из них являются следующие: 1) инженерно-геологическая съемка, изучающая определенные территории как комплексно, так и для решения конкретных вопросов (определенное строительство и др.); 2) космо- и аэросъемка, являющаяся сейчас обязательным элементом регионального и специального инженерно-геологического изучения; 3) специализированное бурение, проводимое в пределах фундаментов будущих сооружений; 4) геофизические методы изучения оснований и фундаментов, которые могут сопровождать бурение или проводиться самостоятельно; 5) лабораторное изучение грунтов.

История развития инженерно-геологических знаний достаточно сложна и не в полной мере еще расшифрована и обобщена. Формальная молодость этого научно-технического направления деятельности не исключает глубоких знаний древних строителей, соорудивших грандиозные даже по современным меркам плотины, пирамиды, храмы, подземные постройки. Разработка полезных ископаемых, использование в строительстве искусственного камня, сооружение каналов, водопроводов, дворцов и жилых домов также требовало специальных знаний и решений. Все это было своеобразной предысторией развития нынешней ИнГ.

С середины XIX ст. строительный материал называется уже не камнем или горной породой, а грунтом; этот же термин используется для обозначения фундамента построек. Большое разнообразие природных процессов зачастую требовало новых подходов и решений. Кроме того, появлялись новые задачи – строительство железных дорог, некоторых оборонительных или подземных сооружений и др. Знаний инженеров-строителей становилось недостаточно, и в ИнГ начали привлекаться специалисты геологического профиля. Для формирования ИнГ в нашей стране особенно большое значение имели исследования И.В. Мушкетова (его классические работы по физической геологии – 1891, 1899, 1903), А.П. Павлова, В.А. Обручева и других геологов, проводившиеся в связи с железнодорожным и мелиоративным строительством.

Считается, что зарождение современной ИнГ относится к 20-м гг. XX ст., когда началось систематическое изучение грунтов для дорожного строительства, а грунтоведение оформилось как самостоятельное направление. Первые кафедры инженерной геологии были открыты в Ленинградском горном институте (1929) и в Московском геолого-разведочном институте (1931), а первые кафедры грунтоведения – в Ленинградском университете (1930) и в МГУ (1938). Их создание означало не только признание роли этой специальности, но и потребность в соответствующих кадрах. Примерно тогда же были опубликованы монографии, учебники и учебные пособия (Терцаги, Филатов, Саваренский и др.). Возникновению и развитию ИнГ и грунтоведения способствовали также исследования таких специалистов, как П.А. Земятченский, Г.Ф. Мирчинк, Г.Н. Каменский, И.В. Попов, В.В. Охотин, Н.Н. Маслов, М.П. Семенов, Л.Д. Белый, В.А. Приклонский, Б.М. Гуменский, П.Н. Панюков, Н.Я. Денисов, Н.В. Коломенский, С.С. Морозов и др.

Со второй половины XX ст. перед отечественной ИнГ были поставлены новые задачи, в том числе характеристика крупных регионов, перспективных для хозяйственного освоения (Западная и Восточная Сибирь, Средняя Азия и др.), и решение там специфических вопросов относительно изучения вечной мерзлоты, работы в условиях аридного климата. Это содействовало оформлению региональной ИнГ, появлению серии специальных публикаций и сводок на эту тему. Главными среди них были восьмитомная монография «Инженерная геология СССР» (1970-е гг.), пятитомная «Геотехнические основы инженерной геологии» под редакцией Е.М. Сергеева. Такие исследования позволили существенно изменить понимание сути ИнГ.

Своеобразными были также проблемы ИнГ в Украине: строительство крупных дорожных магистралей в горных районах Карпат и Крыма, различного рода водохранилищ, плотин, каналов, системы газопроводов;

орошение в южных районах страны, приводившее зачастую к засолению почв и грунтов; добыча соли в Сиваше и разработка многих других видов полезных ископаемых; попытки использования заболоченных площадей Полесья для земледелия; предохранение морских побережий от разрушения и др. Все это способствовало превращению ИнГ в многоплановое научно-техническое направление исследований, взаимодействующее со многими другими науками.

Современная ИнГ понимается как наука о геологической среде. Таким термином определяется часть окружающей среды, с которой активно взаимодействует человек. Это часть литосферы, многокомпонентная система, находящаяся под воздействием инженерно-хозяйственной деятельности, в результате чего происходит изменение природных геологических процессов. Геологическая среда и инженерные сооружения стали сложными природно-техногенными системами. Возникает потребность в эффективном использовании информации ИнГ при проектировании, строительстве и эксплуатации инженерных сооружений, для рационального использования и охраны геологической и окружающей среды. Данная наука и направление деятельности выходят на качественно новый этап развития.

Уже к 1985 г. до 8 % поверхности суши было застроено различными инженерными сооружениями: жилыми и промышленными зданиями, дорогами, аэродромами, каналами и водохранилищами, шахтами и карьерами. К началу XXI ст. площадь застройки увеличилась почти вдвое, и такая тенденция продолжается. Человек начинает бороться с негативными природными и антропогенными воздействиями, а также учитывать не только вредные природные условия, но и последствия своей деятельности. Все это требует разработки прогноза развития данного научного направления на будущее.

Грунтоведение

Направление инженерной геологии, изучающее состав, структурно-текстурные особенности и физико-механические свойства грунтов в отношении возможности возведения на них различных сооружений, а также использования в строительстве, получила название грунтоведения. Данное инженерно-геологическое направление тесно связано с механикой грунтов (дисциплина прикладной механики, изучающая взаимодействие между инженерным сооружением и породой основания), геологическими науками, изучающими вещество земной коры. Различают генетическое, региональное, специальное грунтоведение. Следует напомнить, что в украинском языке «грунтоведение» («грунтознавство») звучит так же, как и «почвоведение», хотя это совершенно разные науки и направления исследований.

Основным вопросом грунтоведения является изучение вещественного состава и свойств горных пород, грунтов и почв с инженерно-геологической точки зрения. Они понимаются как многокомпонентные системы, схема деления которых базируется на разных признаках. Их разделяют по генезису (происхождению), структурно-вещественному составу (характеру структурных связей), инженерно-геологическим свойствам. Генетическое деление соответствует или схоже с геологическим, при котором грунты и составляющие их породы разделяют на осадочные, магматические и метаморфические. Кроме того, в инженерной геологии грунты принято

разделять на скальные, нескальные и искусственные. При этом учитывается их состав и однородность, устойчивость к природному и техногенному воздействию, другие показатели.

Скальные грунты включают магматические, метаморфические и сцементированные осадочные. Грунтоведение изучает форму геологических тел (слои, пласты и другие тела осадочных пород, батолиты, штоки, дайки или вулканические конусы у магматических, сложную структуру метаморфических образований), степень их тектонической нарушенности. В метаморфических горных породах выделяются образования регионального метаморфизма, контактово-метаморфические и динамо-метаморфические (тектонические брекчии, катаклазиты, милониты) и их структуры, формы геологических тел. Схема деления магматических пород достаточно сложна; она включает их разделение по происхождению – глубинные, или интрузивные и вулканические (излившиеся, сцементированные туфовые, лавовые образования вулканических конусов и базальтовых покровов). Кроме того, магматические породы делятся по своему химическому составу на кислые, средние, основные, ультраосновные и щелочные, что также может влиять на их свойства, в том числе устойчивость.

Достаточно сложна схема деления пород или скальных грунтов осадочного происхождения, которые разделяются на обломочные (песчаники, конгломераты, алевролиты), глинистые сцементированные (аргиллиты, сланцы), химические и биохимические. Эти геологические тела представлены слоистыми породами, которые в некоторых случаях могут быть интенсивно нарушены тектоническими процессами. Химические породы представлены обычно сульфатами (ангидрит, гипс, мирабилит) и хлоридами (галит, сильвин, сильвинит, карналит и др.); они образовались в условиях выпадения в осадок и характеризуются повышенной растворимостью в приповерхностных условиях. Биохимические породы разделяются на две основные группы – кремнистые (радиоляриты, спонголиты, опоки, трепела, диатомиты) и карбонатные (известняки, доломиты, мергели, писчий мел). Особенностью карбонатов является подверженность закарстованию.

Кроме того, скальные грунты разделяются в зависимости от плотности по относному сжатию в условиях водонасыщенности (очень плотные, плотные, средней и малой плотности, что выражено определенными количественными показателями), по степени засоленности, степени размокаемости в воде. В последнем случае выделяют не только размокаемые и неразмокаемые грунты, но и растворимые, насыщенные льдом (немерзлые, мерзлые, лед), выветренные. Особую группу составляют трещиноватые скальные грунты, которые разделяют на слабо-, средне-, сильнотрещиноватые и очень сильнотрещиноватые.

Использование скальных грунтов в строительстве может быть самым разным. Они могут составлять фундамент, основу зданий и сооружений, для чего пригодны все грунты, кроме тех, которые растворяются. Использоваться могут как строительные блоки или облицовочный (иногда декоративный) камень. Из отдельных камней изготавливают скульптуры, для чего обычно используется мрамор, гранит; такие изделия, как правило, находятся вне сферы инженерной геологии. В раздробленном состоянии скальные породы используются как наполнитель бетона и асфальта, а также как материал для сооружения различных насыпей (дорожных, прибрежных и др.).

В некоторых случаях скальные грунты применяют как сырьё для каменного литья, в качестве абразионного материала, для изготовления цемента (мергель, известняк), огнеупорного кирпича.

Особую группу составляют нескальные грунты без жестких структурных связей. В зависимости от происхождения они разделяются на элювиальные образования (коры выветривания), делювиальные, речные, или аллювиальные, эоловые, пирокластические (несцементированные туфовые), прибрежные морские, смешанного генезиса. В зависимости от размерности слагающего материала несцементированные образования разделяются на валунные, галечные, песчаные, алевритовые. Различия в текстуре и других механических свойствах позволяют разделять такие грунты на слоистые, косослоистые, однородные, сыпучие и др. Они могут также разделяться на размокаемые и неразмокаемые, быть засоленными, иметь другие свойства. Использование всех этих грунтов также достаточно разнообразное — бутовый камень, материал для создания различных насыпей, искусственных или насыпных сооружений.

В группе осадочных несцементированных грунтов выделяют подгруппы крупнообломочных (валунные, галечниковые, гравийные), среднеобломочных, или песчаных, пылеватых и глинистых, биогенных, почв. Две первые подгруппы разделяются по плотности, степени влажности, засоленности. Пылеватые и глинистые грунты приобретают уже другие свойства, в числе которых пластичность, макропористость, размокаемость. Они разделяются на супеси (мелкий песок и пыль), суглинки (доминирует пылеватый материал), глины, лёссовые грунты, илы. Последние имеют темно-серый и черный цвет, характеризуются наличием современных микробиологических процессов. Особенности лёссовых грунтов являются макропористость, быстрая размокаемость и просадочность. Для всех несцементированных грунтов важным является такой показатель, как дисперсность (общая по-верхность частиц, отнесенная к единице объема). Одним из показателей лёссовых и глинистых грунтов является их консистенция — степень подвижности частиц при механическом воздействии на них; она зависит от влажности грунта, степени дисперсности, минералогического состава. Почвы и биогенные грунты (сапрпели, торф и др.) рассматриваются обычно как определенное полезное ископаемое и в инженерной геологии используются при рекультивации, а также в качестве сельскохозяйственного удобрения.

В группе искусственных несцементированных грунтов различают подгруппы насыпных, намывных песчано-глинистых и преобразованных уплотненных. Для насыпных сооружений используют обломочные породы, отходы производства (шлаки, шламы, отвалы вскрышных работ, строительные и бытовые отходы, мусор). Примером их использования являются дорожные насыпи, плотины, искусственные насыпи под постройками и др. Намывные грунты формируются за счет перемещения речных песчано-глинистых пород, а также отходов производства (шламы, хвосты обогатительных фабрик, зола и др.). Классическим примером намывных грунтов могут быть песчаные речные отложения в одном из микрорайонов Салтовского жилого массива в г. Харьков, перемещенные сюда из долины реки при создании Журавлевского водохранилища.

Подгруппа уплотненных песчаных и пылевато-глинистых грунтов формируется в процессе искусственного уплотнения, трамбовки, осушения,

оттаивания мерзлотных образований, искусственного взрыва. Все такие грунты разделяют на слежавшиеся, в которых процесс уплотнения завершился, и неслежавшиеся, где оно еще продолжается.

Такое деление и характеристика грунтов является обобщенной, но в действительности она может быть более сложной. Выделяют также полускальные, растворимые, просадочные и другие грунты. Искусственные грунты могут быть цементированы различными способами — нагнетанием в них цемента (например, при цементации скважин, фундаментов построек), битумных компонентов, силикатным раствором, замораживанием (в процессе проведения подземных работ), специальным гравитационным уплотнением. Все эти вопросы являются предметом специального рассмотрения и изучения.

Непрерывной составной частью грунтоведения являются полевое и лабораторное изучение грунтов. В числе таких исследований — изучение структуры и текстуры грунта, отбор образцов на лабораторные испытания. В лабораторных условиях определяется растворимость слагающих его пород, их пластичность (способность к деформациям), коэффициент сжимаемости; они испытываются на одноосное сжатие (сжатие цилиндрического образца в компрессионном приборе), установление величины сдвига и других параметров и показателей. Следует подчеркнуть, что лабораторные исследования лишь дополняют сведения о грунтах, которые в природных условиях обладают большим разнообразием.

Еще одним сравнительно новым направлением грунтоведения следует считать изучение вопросов искусственного литогенеза и оценку его технико-экономической эффективности. Кроме расшифровки его теоретических основ в числе основных задач — создание искусственных грунтов с заданными свойствами. Роль таких исследований и внедрений будет резко возрастать в будущем, по мере поисков и применения новых инженерно-геологических решений.

Инженерная геодинамика

Каждая территория со своим рельефом, геологическим строением и процессами представляет собой геологическую среду, в которой может действовать человек. Эта среда взаимодействует с атмосферой, гидросферой, биосферой, литосферой, внутренними силами Земли. Формирующиеся в таких условиях процессы и явления меняют и разрушают геологическую среду. В последнее время кроме сил природы ее сильно меняет и деятельность человека, которая образно названа В.И. Вернадским геологической. Все это требует разработки научного прогноза развития геологических и техногенных процессов, решения проблемы рационального использования геологической среды и ее охраны.

Геологические процессы и явления имеют четкую классификацию, предложенную основоположником ИнГ Ф.П. Саваренским (1937), которая основана на причинно-следственной связи. С некоторыми изменениями и дополнениями она включает: 1) деятельность поверхностных вод и временных потоков в морях, озерах, реках; ее результатом являются размывы склонов с образованием оврагов, селевые потоки, подмыв и разрушение речных, морских и озерных берегов, искусственных водоемов; 2) деятельность поверхностных и подземных вод, которая ведет к заболачиванию

площадей, просадочным явлениям, карсту; 3) деятельность подземных вод, формирующих пльвуны, суффозионные явления, карст, оползни; 4) действие гравитационных сил, формирующих обвалы, осыпи, оползни; 5) промерзание и оттаивание грунтов, следствием чего становятся термокарст, наледи, морозное выдавливание; 6) действие внутренних сил горных пород, обуславливающих набухание, усадку, просадку, разуплотнение; 7) действия внутренних сил Земли, проявляющиеся землетрясениями и другими смещениями, а также вулканической деятельностью.

Особняком стоит инженерная деятельность человека, следствием которой становятся: 1) разрушение и техногенная трансформация геологической среды при разработке месторождений полезных ископаемых; 2) оседание поверхностей при значительной откачке подземных вод, нефти, газа, извлечении угля и др.; 3) затопление и подтопление территорий; 4) повторное засоление грунтов при орошении территорий; 5) активизация геологических процессов при вырубке лесов, распахивании площадей и другой подобной деятельности.

Это лишь принципиальная схема деления, которая может быть дополнена большим количеством частных примеров. Такими примерами могут быть движение ледников, снежных лавин, наводнения, цунами, приливы и отливы, многие другие. Кроме того, все геологические процессы принято разделять на экзогенные, рожденные внешними силами, взаимодействием внешних сфер планеты, и эндогенные — обусловленные внутренними силами Земли. Эти вопросы рассматривались нами в динамической геологии, частично в гидрогеологии; здесь все эти процессы и явления интересуют нас в связи с инженерной деятельностью человека, решением различных инженерно-геологических вопросов. Попробуем кратко охарактеризовать их.

Гравитационные геологические процессы. Обуславливают три основных вида смещений — обвалы, осыпи, оползни. Обвалы формируются на сравнительно крутых склонах (до 25–300 м) и возникают при толчке, обусловленном атмосферными явлениями или землетрясением. Осыпи являются результатом накопления в нижней части склона продуктов осыпания — глыб, щебня, песчано-глинистой массы. Они могут состоять либо из грубообломочного материала (курумы), либо со значительной примесью снесенной водой песчано-глинистой массы. Оползни возникают при смещении горных масс по смоченному склону под действием силы тяжести. Если во втором случае параллельно со смещением могут действовать поверхностные и подземные воды, то формирование оползней подразумевает обязательную работу подземных вод. Кроме того, в результате такого смещения обычно не происходит сплошного дробления или переворачивания сместившихся масс.

Изучение в ИнГ данных гравитационных процессов обязательно требует определения стойкости склонов и разработки противообвальных мероприятий. Стойкость склонов определяется составом пород, из которых они сложены, и существенно различается для скальных, рыхлых или других грунтов (выветренных, осложненных тектоническими нарушениями, обвалами, колювием). Для таких определений существуют свои математические расчеты, которые мы здесь не приводим. В них учитывается величина уклона, масса пород, тектонические напряжения, ползучесть и стойкость осыпей, другие показатели.

Распространенным процессом, обуславливающим стойкость склонов, является тектоническое расслоение, называемое также послойным кливажом. Различают кливаж послойный (поверхность трещиноватости параллельна первичной слоистости), растяжения, разлома, скалывания, смятия, течения. Структурные особенности склонов должны учитываться для определения стойкости склонов, соответствующих инженерно-геологических расчетов. Кроме того, она может быть обусловлена изменившейся гравитационной нагрузкой при строительстве, составом отложений, подтвержденных суффозионным, карстовым или просадочным явлениям.

Широко распространенным явлением являются оползни, схема деления которых достаточно сложна. Различают консистентные оползни, формирующиеся вследствие изменения влажности пород, слагающих склоны; глины и суглинки при переувлажнении переходят в пластическое состояние. Суффозионные оползни образуются при уменьшении сцепления при растворении и выносе мелких частиц. Структурные оползни образуются при смещении массы склона по контакту слоев. Кроме того, их можно делить в зависимости от территориальной проявленности (площадное сползание или локальное), геологического строения, причин, обуславливающих сползание.

Оползни делят также в зависимости от механизма перемещения (сползание, выдавливание, всплывание, течение). В этом процессе выделяют такие морфологические формы, как потоки и сползания, суффозия, одноярусный и многоярусный оползень. Соответственно, различают оползни проседания, водонасыщения, пластические, структурные, режущие и др. Оползание осадков фиксируется также в континентальных и морских отложениях изучаемых разрезов, что свидетельствует о достаточно активном проявлении их в прошлом. Такое большое внимание к оползням обусловлено не только большим разнообразием, но широким распространением данного процесса, сложностью выявления и борьбы с их последствиями.

Среди основных способов борьбы с оползнями необходимо назвать: 1) перехват, отвод и сброс поверхностных и временных водотоков, предохраняющих берега от эрозии, устройство подпорных стенок; 2) контроль над деятельностью подземных вод, снижение уровня грунтовых вод, организацию различного рода дренажа; 3) регулирование поверхностного стока, обусловленного атмосферными осадками, путем планирование территории, террасирования, устройства канав, лотков, кюветов; 4) защиту грунтов склона от выветривания и разрушения путем посадки трав и деревьев, устройства покрытий с вяжущими веществами; 5) механическое сопротивление движению земляных масс путем устройства подпорных стенок, забивания металлических или бетонных «шпилек», отсыпки земляных и каменных контрбанкетов, улучшения свойств грунта; 6) специальный режим в оползневой зоне, включающий запрещение разработки месторождений полезных ископаемых, ограничение вырубки лесов, застройки территории, введение специального режима эксплуатации сооружений.

Кроме непосредственных мероприятий по борьбе с оползнями, предусмотрена также система прогнозирования, наблюдения и оповещения о таких процессах. Она включает составление кадастра и паспорта оползней (они описываются по определенной схеме) и пояснительной записки к нему. Паспорт оползня характеризует пространственное положение

и характеристику его, а также оползневого склона, методику его составления. Исходя из технической нагрузки на оползневой склон анализируется хозяйственная деятельность, выполняется соответствующий прогноз развития оползня и рекомендации к стабилизации развивающегося процесса.

Инженерно-геологическая и природная деятельность поверхностных вод достаточно разнообразна. Она сводится к разрушению временными или постоянными водотоками русла, переносу разрушенного материала, который иногда в горных районах может носить катастрофический характер (сели и др.), затоплению прибрежных площадей в процессе паводков. На побережьях морей, озер и водохранилищ разрушаются берега (абразия, эрозия), а на прилежащих к ним площадях могут формироваться овраги, активизироваться оползни. В приустьевых частях рек и оврагов может происходить катастрофическое накопление переносимого материала (дельты, конуса выноса), меняться схема движения водотока.

Мероприятия и инженерные сооружения для защиты берегов водоемов и водохранилищ от разрушения разделяют на профилактические и капитальные. К числу первых относят укрепление пляжей и берегов, наблюдение за их нормальным состоянием. Сохранение рыхлого материала в прибрежных зонах в процессе капитальных работ защищает их от разрушительных эрозионных процессов (паводков), улучшает условия судоходства. В горных районах защита от селевых явлений предусматривает составление соответствующего паспорта водозабора, гидрогеологическую его характеристику. Анализируются также природные и техногенные условия и факторы, которые могут приводить к катастрофическим последствиям (уничтожение лесов, необоснованный отбор песчано-гравийного материала из русла рек, отсутствие регулирующих инженерных сооружений). К числу контрмер может быть отнесена очистка русел рек под мостами, глубокое заложение фундамента опор.

Геологическая деятельность на берегах морей и океанов сводится к разрушению прибрежных площадей (абразия) или аккумулятивному накоплению, формированию пляжей. Широкий пляж становится той полосой, что предохраняет берег от разрушения. Смена морских течений, иногда техногенная деятельность (отбор морских и аллювиальных отложений для строительства) может приводить к новому разрушению берега и пляжа. В таких случаях, если в этом есть необходимость, прибегают к строительству в прибрежной зоне специальных дамб, плотин, бун, волнорезов и других сооружений. Местами в прибрежных районах могут формироваться лагуны, лиманы, бары, пересыпи и косы, условия образования которых должны быть учтены в случае строительства на них.

Геологическая работа озер сводится к накоплению на этих площадях определенных осадков, а в некоторых случаях – к их заболачиванию. По своему происхождению озера бывают тектоническими, ледниковыми, речными, прибрежными (лагуны и лиманы), провальными (карстовыми и лёссовыми), вулканическими, обвально-запрудными, искусственными. К числу последних относятся водохранилища, пруды, заполненные водою карьеры. По химическому составу воды озера могут быть пресными и солеными. Способность некоторых озер зарастать может приводить к их заболачиванию. Такой процесс не только приводит к сокращению площадей водоемов, но и затрудняет здесь строительство. В ряде случаев заболоченные

площади пытаются осушить с целью использования полученных земель для земледелия. Обычно это приводит к нарушению экологической обстановки.

Разнообразную деятельность, важную для решения многих инженерно-геологических вопросов, производят подземные воды. Среди них уже рассмотренные оползни и заболачивание, подтопление, а также карст, суффозия, засоление почв и грунтов, образование плывунов. Изучением подземных вод занимается одна из геологических наук, названная гидрогеологией. Здесь не будет повторяться ранее приведенная информация (схема их классифицирования, условия происхождения, режим и фильтрация, другие характеристики), а лишь сделан акцент на наиболее важных вопросах инженерной геологии. Среди них – строительство на закарстованных территориях, учет роли плывунов и суффозии, засоления, подтопления. Рассмотрим лишь основные вопросы, возникающие при изучении подземных вод.

Важным показателем, определяющим гидрогеологические и инженерно-геологические особенности грунтов, является коэффициент их фильтрации. Он достаточно велик для песков и резко уменьшается для суглинков и глин. Именно он определяет приток воды к водозаборным сооружениям, в строительные котлованы. Его нужно учитывать при проектировании водопонижения, осушения и водоснабжения, что позволит определять приток вод для колодцев, скважин, канав, строительных котлованов. Все такие параметры – коэффициенты фильтрации, притоки воды, определение радиусов депрессий – рассчитываются по специальным формулам и схемам.

Основным способом борьбы с грунтовыми водами, мешающими строительству или эксплуатации сооружений, является дренирование – искусственное осушение водоносных отложений, а также понижение уровня их залегания. Это осуществляется путем поступления вод в природные понижения (реки, озера) или созданные человеком емкости – колодцы, шахты, скважины, каналы. Различают горизонтальный, или открытый дренаж (канавы, лотки) и вертикальный, или закрытый. Дренаж бывает систематический (специально рассчитанная система скважин для снижения уровня грунтовых вод), главный (устройство канавы по периметру строительного сооружения), береговой (вертикальные дрены между водоемом и сооружением). Расчет водопритоков в строительный котлован осуществляется по формуле Дюпюи.

Важным для инженерной геологии показателем является определение некоторых свойств воды – ее минерализация, жесткость, агрессивность. Определяется она путем химического анализа, и в соответствии с принятыми схемами деления различают воды пресные, слабо- и сильносоленые, соленые; слабые и крепкие рассолы. Жесткость воды определяется наличием в ней солей кальция и магния. Негативное воздействие подземных вод на металлы и бетон называется агрессивностью воды, которая определяется наличием в ней различных газов и соединений. Различают агрессивность основную (щелочную), общекислотную, углекислотную, сульфатную и магниезильную. Определение всех этих показателей является предметом специальных исследований.

Одним из негативных видов работы подземных вод для инженерной геологии является образование плывунов. Таким термином называют насыщенные водой рыхлые песчаные породы, иногда супеси или суглинки,

проявляющие при определенных гидродинамических условиях большую подвижность — способность течь, плавучесть. Различают истинные пльвуны (пески, содержащие гидрофильные коллоиды) и ложные, которые не содержат таких частиц. Первые переходят в пльвунное состояние при ничтожных напорных градиентах и имеют устойчивые пльвунные свойства. При проходке горных выработок в пльвунах применяют особые меры защиты от заплывания — забивную крепь, кессоны, специальные шиты, замораживание, строительство дренажных колодцев и др. Основными методами борьбы с пльвунами являются: 1) снижение уровня грунтовых вод путем откачивания через голкофилтры и скважины; 2) исключение использования вибромашин при выполнении работ; 3) электроосмос или электродренаж; 4) замораживание, химическое закрепление грунтов закачкой жидкого стекла и хлористого кальция; 6) комбинирование разных методов.

Многолетняя (вечная) мерзлота является широко распространенным природным явлением; она выявляется на 25 % суши. Занятые ею площади иногда называют областью подземного оледенения, а разнообразные ледяные включения в горных породах — ископаемым льдом. Такой лед существует в виде жил, клиньев, линз; иногда такие льды приподнимают залегающие выше грунты, образуя бугры, гидролакколиты. Геологическая среда в таких областях очень уязвима, а криогенные и посткриогенные процессы весьма разнообразны. При протаивании грунтов образуется просадка, ведущая к разрушению зданий, сооружений, коммуникаций. Летом приповерхностные грунтовые воды легко загрязняются. При зимнем замерзании происходит пучение грунта, что вызывает деформации сооружений. Кроме того, образуются наледи (выдавливание грунтовых вод на поверхность), что разрушает дороги и постройки. В процессе таяния проявляется термоэрозия грунта, а на склонах — солифлюкция (сползание водонасыщенных глинистых грунтов). Мерзлотные процессы очень осложняют строительство и эксплуатацию зданий, дорог, мостов, тоннелей. Приходится сохранять мерзлые грунты в природном состоянии. С этой целью сооружения устанавливают на опоры, прокладывают охлаждающие трубы, погружают сваи в пробуренные скважины.

Распространенным природным явлением для некоторых районов и регионов следует считать суффозию и карст. В отличие от оползней для данных процессов характерно химическое растворение и вымывание вмещающих пород подземными водами. В результате такого растворения и размывания в недрах земли могут формироваться значительные пустоты. Суффозией называют процесс вымывания подземными водами из пород глинисто-алевритового материала с перемещением его в глубину, что вызывает нарушение структуры и устойчивости разрушаемых образований. Она обычно проявлена оседанием поверхности с образованием различных понижений в рельефе, суффозионных блюдеч либо формированием воронок проседания и провалов. Суффозия весьма характерна для лёссовых пород; ее проявлению способствует нарушение структуры пород (например, при оползнях). Она может возникать по берегам рек, в основании плотин, в откосах карьеров, котлованов, других искусственных выемках, а также в местах интенсивной откачки воды.

Карстом называют совокупность процессов растворения горных пород с образованием в них сообщающихся полостей различных форм и размеров,

а также частичным переотложением растворенного вещества. Наиболее активно карст развивается в карбонатных и сульфатных породах (известняки, доломиты, гипсы), в каменной соли (эвапоритах), во льдах (термокарст). Вместе с тем, его проявления фиксируются в мергельно-меловых и даже вулканических породах, мраморах и др. Для проявления карста необходимы своеобразные геоморфологические и гидрогеологические условия (он формируется ниже базиса эрозии, обычно в пониженных местах), а также характеризуется большим разнообразием поверхностных и подземных форм (пустоты, воронки, долины, карры, увалы, шахты), что создает своеобразный карстовый ландшафт. Наиболее интересным проявлением подземного карста является образование пещер; это направление исследований получило название «спелеология».

Схема классифицирования карста достаточно сложна. Она включает выделение погребенного (ископаемого), бронированного, голого, мерзлотного, морского и других типов. Кроме того, его разделяют в зависимости от того, по каким породам он развивается (известняковый, гипсовый, хлоридный и др.). Строительство различных сооружений в закарстованных районах вызывает определенные сложности, иногда сопровождается выявлением под постройками пустот, которые ранее не были известны. При гидротехническом строительстве опасность данного явления заключается в дренирующей способности карста, повышенной фильтрации из водохранилищ, заложенных на трещиноватых известняках. Меры борьбы с карстом сводятся к улучшению поверхностного стока путем сброса дождевых и талых вод по укрепленным лоткам и каналам. Кроме того, карбонатные породы укрепляют с помощью инъекций под давлением — песчаными смесями, а затем цементно-глинистым раствором.

Еще одним негативным воздействием подземных вод является засоление почв и грунтов, сопровождаемое иногда образованием солончаков и солонцов. Процесс этот может быть результатом повышенного содержания солей в коренных породах и последующим выносом их в почвы, а также длительного накопления солей в условиях высокого испарения влаги из расположенных близко от поверхности грунтовых вод. Вторичное или повторное засоление бывает следствием неправильно организованного орошения: поднимающаяся по капиллярам вода выносит соль в поверхностную зону. Данный процесс оказывает негативное воздействие преимущественно на сельскохозяйственные земли. Вместе с тем, выполнение тех или иных строительных решений должно учитывать его возможность и не допускать развитие данного процесса. В ряде случаев применяется рассоление поврежденных почв путем вымывания солей пресными водами.

Геологическая деятельность ветра, называемая также эоловой, сравнительно проста, и ее результаты не могут относиться к числу ведущих в инженерной геологии. В ней различают несколько самостоятельных процессов: разрушение горных пород путем выдувания песчаного и алевритового материала (дефляция), механическая обработка горных пород с образованием иногда красочных, обработанных ветром скал (коразия), а также перенос и накопление разрушенного материала. Результатом аккумулятивной деятельности является образование барханов (подвижные песчаные холмы в пустынях), дюн на побережьях морей, озер, рек и формирование лёссовых пород. Высокую подвижность барханов (в среднем 7–12 м/год) обязательно

нужно учитывать при строительстве в соответствующих районах. Для закрепления подвижных песков практикуется насаждение трав, кустарников, деревьев; используют также методы закрепления таких песков твердеющими растворами (битумными эмульсиями и полимерными материалами).

Лёссовые породы образуются в условиях сухого климата при накоплении пылеватого и глинистого материала, который приносится ветром из пустынь. Скорость образования лёсса составляет от 1–2 мм/год до 10–15 см/год. Толщи лёсса в Украине могут достигать 20–40 м, а в некоторых странах – до 100 м. Среди главных особенностей лёссовых пород следующие: высокая пористость (объем пор превышает в них 40 % всего объема породы). В сухом состоянии это плотные породы – как фундамент и строительный материал, но при увлажнении под воздействием груза теряют прочность и сильно уменьшаются в объеме (явление просадки). Количество пылеватых частиц в лёссовых породах составляет 30–80 %, глинистых – 10–20 %. Лёссовые породы являются благодатным материалом для образования почв; именно на них формируются наши плодородные черноземы.

Лёссовые породы являются уникальной геологической формацией, неизвестной в более древних толщах, чем четвертичные. В их формировании различают две основные стадии – накопление осадков и превращение их, в результате частичной литификации в лёссовые породы. Они отличаются от более древних и сходных по составу уплотненных пород, называемых алевролитами. Просадка в лёссовых породах нередко хорошо выражена в рельефе в виде блюдцеобразных плоских понижений, впадин, балок и леек, которые встречаются как отдельно, так и группами. Подобные наблюдения наряду с лабораторно-аналитическими исследованиями обычно должны лежать в основе оценки и прогноза просадки лёссовых пород.

Проектирование и строительство на лёссовых породах представляет значительные сложности, что связано с потерей их стойкости при обильном увлажнении и склонностью к просадке. Под воздействием воды в лёссовых породах разрушаются структурные связи и их строение. Опыт показывает, что нарушение устойчивости в большинстве случаев связано с разными видами интенсивного локального смачивания. Оно может происходить при скоплении дождевых и талых вод на отдельных участках, при отсутствии или нарушении гидроизоляции, которая ограждает основу сооружения от увлажнения, от притока воды из подземных горизонтов, при местном подтоплении в связи с повышением уровня подземных вод, неорганизованном сбросе промышленных вод и т. д. Аналогичные явления происходят при орошении земель, строительстве каналов и водоемов. Наблюдения показывают, что общее проседание и его неравномерность зависит от суммарной мощности просевших пород в активной зоне сооружений, условий и длительности их замачивания.

Выветриванием называют совокупность процессов разрушения верхних зон земной коры (горных пород и минералов). В разделе динамической геологии уже подчеркивалось, что данные процессы и явления не следует смешивать с эоловыми, работой ветра. В зависимости от формирующих его причин различают выветривание физическое (механическое, термическое), химическое и органическое (биохимическое). Основным агентом выветривания является вода, обуславливающая растрескивание пород в результате ее замерзания в трещинах, растворение, разрушение или преобразование каких-то компонентов. Роль организмов сводится

как к механическому, так и биохимическому воздействию. Выветривание осуществляется обычно в приповерхностных условиях, но возможно и подводное (в долинах рек под толщей аллювия), а также глубинное его проявление, проникающее по зонам разломов на сотни метров.

Результатом рассматриваемых процессов становится формирование кор выветривания, образование эллювия (разрушенных образований, сохранившихся на месте своего образования и постепенно переходящих в коренные породы). Частично или существенно сместившиеся образования разделяют на коллювий, делювий, деляпсий, пролювий. Для кор выветривания характерна вертикальная зональность — более интенсивная разрушенность и преобразование коренных пород вверх по разрезу. Кроме того, интенсивность и характер выветривания существенно отличаются в условиях полярного, гумидного или аридного климата. Для первого случая характерно морозное физическое выветривание, а для второго — формирование каолиновых и других глинистых образований в условиях теплового влажного климата.

Механическое разрушение (дезинтеграция) и химическое разложение приводят к снижению устойчивости пород, что всегда следует учитывать при инженерно-геологическом проектировании и решениях. При этом нужно иметь в виду площадную и вертикальную неравномерность процессов выветривания. Варианты технических решений могут быть разными — от снятия верхнего слоя выветренных пород до коренной ненарушенной массы и до укрепления грунта химическим и механическим путем.

Среди эндогенных геологических процессов, которые включают проявления магматизма, метаморфизма и тектонических движений, наиболее важное для инженерной геологии значение могут иметь землетрясения, а в некоторых случаях — вулканизм. Это в определенной степени взаимосвязанные явления. Кроме того, для отдельных площадей нужно учитывать вертикальные современные тектонические перемещения, которые называются колебательными.

Землетрясением называют отчетливо наблюдаемые тектонические движения, подземные толчки и упругие колебания земной коры, вызванные перемещением отдельных ее участков. Это наиболее важный и непосредственно ощущаемый человеком эндогенный фактор. Особенностью его является отнесенность к подвижным зонам Земли, называемым сейсмичными. Различают неглубокие (до 50 км от гипоцентра), средние и глубокие (свыше 300 км) землетрясения. Для определения его интенсивности разработана 12-балльная шкала. Ежегодно происходит около 9000 землетрясений, из которых 5–7 тыс. слабых (до 3 баллов), 750–1000 — умеренных, 100–150 — сильных локального масштаба (5–6 баллов), 15–20 — сильных регионального масштаба (6–7 баллов) и 1–2 — катастрофических планетарного масштаба (11–12 баллов).

Следствием землетрясений могут быть разрушение зданий или их повреждение (растрескивание, обрушение каких-то частей), обвалы мостов, колонн, эстакад, деформация шоссе и железных дорог, обрыв телефонных проводов и кабелей, выход из строя линии электропередач. Иногда землетрясение также сопровождается разрывами водопроводов, канализационных систем, нефте- и газопроводов, пожарами. В горных и других районах может иметь место сход снежных лавин, возникновение или активизация оползней, грязевые и селевые потоки. Одним из наиболее опасных

явлений для прибрежных районов следует считать цунами – гигантские морские волны, возникающие при землетрясениях (моретрясениях) на морских и океанических площадях. Необходимо подчеркнуть, что в ряде случаев причиной землетрясений могут быть не природные, а техногенные факторы. Они могут возникать при больших и некомпенсированных отборах подземных вод или нефти, подземных взрывах, строительстве крупных водохранилищ; такое явление уже фиксировалось на 40 водохранилищах США, Индии, Греции.

К основным методам защиты от землетрясения относятся: 1) правильное и грамотно организованное определение сейсмичности территории, которая готовится под строительство, инженерно-геологическое сооружение, сопровождающееся составлением карт микросейсмичности и других исходных данных; 2) организация непрерывных наблюдений, прогнозирования землетрясений; 3) современные конструктивные решения при строительстве в сейсмичных районах; 4) планирование аварийных работ и их организация. В связи с катастрофическими цунами последних лет в Юго-Восточной Азии, США и других регионах сейчас ставится вопрос о соответствующих наблюдениях на отдельных акваториях или из космоса, а также о строительстве специальных предохранительных сооружений на прибрежных площадях. В отличие от вулканизма, о возможном проявлении которого могут свидетельствовать остатки вулканов, районы сейсмичных проявлений обычно невидимы, что требует специального изучения подготавливаемого к строительству района или модернизации уже построенного.

Современные колебательные тектонические движения также могут требовать специальных инженерно-геологических решений. Примером такого случая могут быть некоторые участки берегов Голландии, Швеции и других стран, которые непрерывно опускаются. Это требует постоянного наращивания высоты защитных дамб в уже освоенных местах. Периодические поднятия и опускания морского берега в Северном Прикаспии также должны учитываться при строительстве долговременных сооружений. Повышенный отбор воды из рек, впадающих в Аральское море, обусловил резкое сокращение его площади, что стало причиной отступления берега и прибрежных построек. Техногенное опускание поверхности происходит и на местах, расположенных над шахтами, в районах активного отбора подземных вод (район г. Мехико и др.).

Вулканизм является достаточно детально изученным эндогенным процессом. Основным методом предохранения от его последствий должно быть поселение человека на безопасном расстоянии от мест его проявления. Но этот принцип постоянно нарушается, что привело к катастрофическим последствиям, среди которых – гибель Помпеи и других древних городов вблизи Везувия, извержение Кракатау в 1883 г. и др. Главными возможными причинами таких катастроф могут быть выбросы огромного количества вулканического пепла, спастись от которых не поможет никакое рациональное инженерно-геологическое решение. Причиной катастрофы также может быть цунами в результате некоторых вулканических взрывов. Основной задачей в таком случае является организация систематических наблюдений в зонах возможных извержений и экстренное принятие необходимых мер.

Кроме рассмотренных природных процессов, лежащих в основе инженерно-геологических задач и решений, важную роль приобретает

сейчас техногенная деятельность человека, ставшая в последнее время соизмеримой с ними по масштабам. Среди главных процессов – изменение первоначального рельефа в результате различных видов строительства (его нивелирование, а также создание искусственных террас, насыпей и др.), разработки полезных ископаемых, создания водохранилищ и других водоемов. Значительные по весу сооружения, образование полостей в недрах, взрывы и другие энергетические напряжения, подтопления и прочие изменения режима подземных вод нарушают первоначальную устойчивость грунтов. Все эти процессы и явления должны учитывать инженерная геология при разработке проектов, строительстве и эксплуатации своих сооружений.

Напомним о главных из них. Строительство водохранилищ и плотин сопровождается разрушением берегов, нарушением режима подземных вод (поднятием их уровня, иногда – резким изменением химического состава), большими нагрузками на грунты и недра, что в ряде случаев, как уже говорилось ранее, может быть причиной землетрясений и других проявлений смены геодинамических обстановок. Строительство дорог в горных районах требует создания насыпей или вреза в коренной склон, а также противоосыпных и противооползневых сооружений. Подземная разработка полезных ископаемых (извлечение вод и нефти, деятельность шахт) нарушает устойчивость недр, что проявляется в проседании земной поверхности, иногда даже сопровождается землетрясениями. Это может отразиться на устойчивости наземных сооружений. То же относится к строительству подземных коммуникаций и других построек (тоннелей, метрополитенов, подземных хранилищ). Различные виды поисков и разработки полезных ископаемых требуют своих инженерно-геологических решений (устойчивость склонов карьеров, штолен, шахт, схема размещения и количество разведочных, наблюдательных и эксплуатационных скважин).

Региональная инженерная геология

Одно из крупных направлений отечественной инженерной геологии, которое производит типизацию и районирование площадей применительно к разным задачам и решениям в разных геолого-геоморфологических условиях, получило название региональной. Оно имеет целью показать условия работы для строительства в пределах различных геологических структур (древние и молодые платформы, разновозрастные складчатые сооружения), резко отличающихся природно-климатических обстановках, характерных для районов вечной мерзлоты, заболоченных или пустынных аридных регионов, а также прибрежных площадей. Причем такое разнообразие характерно не только для отдаленных регионов, но и для Украины. Достаточно напомнить о существовании на территории нашей страны горных и равнинных площадей, заболоченного Полесья или южной окраины с резко выраженными аридными условиями, прилежащих акваторий Черного и Азовского морей.

Среди основных задач, которые приходится решать инженерной геологии в разных регионах Украины, нужно отметить следующие. В горных районах в числе главных и наиболее сложных целей – дорожное строительство, охрана берегов рек от разрушения, а также предупреждение вредных последствий паводков, селей, сползания склоновых образований. В пределах равнинных областей Приднепровья в числе наиболее крупных строительных работ

было создание системы ГЭС на Днепре и обеспечивающих ее деятельность водохранилищ; в настоящее время эти сооружения требуют укрепления, модернизации и систематического мониторинга.

В пределах больших городов инженерная геология решает вопросы предупреждения подтопления, сооружения водоемов, обоснования под строительство крупных зданий. Работа шахт Донбасса обуславливает такое явление, как проседание земной поверхности; среди главных задач здесь необходимо назвать решение вопросов устойчивости грунтов под строительство, ликвидацию последствий горных работ (выравнивание териконов, откачка подземных вод). Аналогичные задачи существуют и в районах горнорудных работ Криворожья, Никополя, Керченского и Днепровского угольных бассейнов, где соответствующая разработка обычно осуществляется открытым способом. В прибрежных районах акваторий в числе основных — работы по сохранению берега.

Инженерно-геологическое районирование может и должно строиться на основании группировки площадей по рельефу (горный, равнинный, прибрежный, акватория), климатическим и гидрогеологическим условиям, площадям с различными грунтами (скальными, лёссовыми, слабо цементированными осадочными и др.) и различными природными процессами. Оно предполагает выделение площадей с разной степенью сейсмичности, различной нарушенностью пород тектоническими процессами (в том числе зоны глубинных разломов, другие подвижные структуры и области), районов со специфичными природными процессами (сели, заболоченность, движущиеся пески, эрозионно-абразионное нарушение) и грунтами.

Основными методами и направлениями региональных работ в области рассматриваемого раздела являются инженерно-геологическое картирование, организация специальных наблюдений и исследований. Региональный уровень изученности и определения состояния геологической среды обеспечен мелкомасштабными инженерно-геологическими и эколого-геологическими картами (масштаб 1:1000000—1:500000), многолетними наблюдениями за состоянием подземных вод и опасных экзогенных процессов, которые осуществляют 250 стационарных пунктов. На площадях с интенсивной хозяйственной деятельностью и развитой промышленностью проведено среднемасштабное (1:200000) комплексное картирование, включающее составление инженерно-геологических, гидрогеологических, эколого-геологических, ландшафтно-геохимических карт. Третий уровень изученности включает составление крупномасштабных карт (1:50000), а четвертый — специальных локальных исследований по оценке геологической среды с точки зрения определения инженерно-геологических и экологических параметров (1:10000 и крупнее).

Условия строительства, проблемы и задачи инженерно-геологических решений в районах с разными геодинамическими условиями рассматривались нами ранее при характеристике соответствующих геологических процессов — экзогенных и эндогенных. Здесь они не будут повторяться. Подчеркнем лишь, что подавляющее их большинство (кроме вечной мерзлоты и современных вулканических извержений) характерно для Украины. Напомним также о больших закарстованных площадях в Подолии и Горном Крыму, широком развитии лёссовых пород и засолении на юге страны, активных оползневых процессах в ДДВ и Причерноморской

впадине, разнообразных абразионных и эрозионных проявлениях на морских побережьях и в долинах многих рек, многообразной деятельности подземных вод и их региональном своеобразии.

Еще одним направлением региональных инженерно-геологических исследований необходимо считать тот вид работ, который получил название литомониторинга. Таким термином названа система наблюдений над состоянием геологической среды определенных площадей. В их задачи входят изучение динамики, условий формирования и деятельности подземных вод, слежение за оползнями, разработка мер борьбы с разрушением берегов моря и рек, анализ сейсмической обстановки с предсказанием землетрясений, вулканических извержений, критических величин проседания грунта (предупреждение провалов), подтопления. Различные другие направления геопрогноза разрабатываются в специализированных учреждениях страны.

Следует подчеркнуть, что если общегеологические, а также специальные геологические знания получают будущие кадры, работающие в различных областях использования недр (геокартирование, поиски и освоение полезных ископаемых, другие виды работ), то инженерно-геологические сведения нужны и обычно даются гидрогеологам, представителям различных строительных специальностей. В Украине вузы такого профиля имеются в Киеве (Национальный технический, Международный научно-технический университеты и др.), Днепрпетровске (Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры), Запорожье (Национальный технический университет, Государственная инженерная академия), Ивано-Франковске (Национальный технический университет нефти и газа), Кривом Роге, Львове (Национальный университет «Львовская политехника»), Мариуполе (Приазовский государственный технический университет), Одессе (Национальный политехнический университет, Государственная академия строительства и архитектуры), Полтаве (технический университет). Особенно много таких вузов в Харькове – университет национальный технический «ХПИ», национальный автомобильно-дорожный, строительства и архитектуры, а также академия железнодорожного транспорта и др.

Среди специальных учреждений Харькова, выполняющих большую и разнообразную работу в области инженерной геологии, необходимо назвать: УкрНИИНТИЗ (Украинский государственный научно-исследовательский и производственный институт инженерно-технических и экологических изысканий), УкрВОДГЕО, в сферу деятельности которого включены водоснабжение, водоотведение, гидротехнические сооружения, инженерная гидрогеология. «Укргидропроект» выполнил большую работу по проектированию гидротехнических сооружений в Украине, «Харковметрпроект» – метрополитена, УкрГИПРОРУДА – по проектированию предприятий рудного сырья, а УкрНИИГАЗ – по разработке газовых месторождений и транспортировке газов. Ряд проектных организаций выполняет работы по проектированию различных видов строительства. Уже такое краткое перечисление основных учреждений показывает важное значение инженерной геологии в народном хозяйстве и деятельности человека вообще.

17. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

Экологией называется наука, изучающая взаимоотношения развития органического мира с окружающей средой. Понятие это и термин введены Э. Геккелем в 1866 г. Первоначально он обозначил ими отношение животных к среде обитания и другим животным. Бурный рост этого начально узкого биологического направления исследований начался лишь в последние десятилетия. Причиной такого явления стала острая потребность в охране окружающей среды и как следствие — в выявлении факторов вредного на нее воздействия. Экология в таких условиях стала научной основой, изучающей не только взаимодействия разных групп организмов и человека с окружающей средой, но и активное воздействие на нее антропогенеза. В первоначально биологической и частично географической (характеристика среды обитания) науке наметилось много других новых направлений. Это и физико-химическая характеристика окружающей среды, и социальная экология (техногенез, изучение развития городов, урбанизация, другие направления деятельности человека) или производственное ее направление — сельскохозяйственная, строительная, инженерная и другие виды экологии. Таким образом, экология стала универсальным комплексным направлением исследований, затрагивающим или решающим самые различные научные вопросы.

Экологическая геология (ЭГ, экогеология) оформилась позже других разделов этого научного течения. Сам термин ЭГ впервые использован в публикации Н.И. Плотникова и Н.А. Карцева в 1989 г. А уже в 1990-е гг. в Украине появляются справочники и учебники по этому разделу науки. Среди главных направлений ее исследований — изучение природных процессов, оказывающих негативное или даже катастрофическое воздействие на жизнедеятельность человека. Изучение истории развития природы и органического мира дало возможность выявить многие экологические проблемы прошлого, проанализировать причины и характер вымираний, что позволило оформиться палеоэкологии. Экогеологией поднимаются вопросы охраны недр и подземных вод как одного из элементов окружающей среды, проблемы рационального использования минеральных ресурсов. В некоторых случаях человек заметно нарушает природные процессы и само состояние недр или регулирует их в соответствии со своими интересами (предупреждение оползней и селей, разрушение морских или речных берегов). Основная часть этих вопросов находится в рамках компетенции геологии. В сферу ее деятельности входит также составление специальных экологических карт, прогнозов, нормативных документов.

Необходимо подчеркнуть, что экологическая геология представляет собой не просто рядовую пограничную науку, оформившуюся на стыке экологии и геологии подобно палеогеографии, геоморфологии, палеонтологии. Это новое направление природопользования, призванное в каком-то отношении переориентировать современную геологию для определения характера и масштабов воздействия человека на недра, геологическую среду.

Структура экологической геологии окончательно еще не оформилась. Это естественное состояние формирующейся и активно развивающейся дисциплины и науки, знания которой будут использоваться в разных направлениях деятельности человека. В ее составе может обособляться

несколько самостоятельных разделов: 1) изучение природных процессов и их воздействия на недра, геологическую среду, органический мир и человека, — динамическая экогеология или геодинамическая экология; направление это является пограничным между геоэкологией (географическим направлением экологии) и экогеологией; 2) раздел экологической геологии, изучающий природные процессы и явления прошлого в связи с воздействием их на развитие органического мира, получил наименование палеоэкология; 3) антропогенное (главным образом техногенное) воздействие на недра и геологическую среду, которое является предметом изучения строительных, горных, гидротехнических, агрономических и других наук и специальностей, пока не имеет самостоятельного общего названия, и его целесообразно именовать инженерной экогеологией; 4) учитывая роль подземных вод в жизни человека и своеобразии условий их формирования и развития, в качестве самостоятельного направления экологии должна обособляться экологическая гидрогеология; 5) поскольку геологическое строение, уровень освоенности и преобразования недр в различных странах и регионах существенно отличаются, можно говорить о необходимости обособления региональной экогеологии, примером которой может быть экологическая геология Украины или отдельных ее регионов с резко различными природными условиями, антропогенным воздействием и научными проблемами; 6) естественным в таком случае будет существование общей экогеологии, которая занимается разработкой всех этих направлений в целом.

Геологическая среда, критерии и показатели оценки ее состояния

Составной частью экологической геологии и одной из основных ее задач является разработка критериев и показателей, используемых для оценки состояния окружающей среды, в первую очередь — геологической. Такая ситуация требует уточнения и четкого понимания этих понятий, организации экологического мониторинга геологической среды, проведения соответствующего эколого-геологического картирования. Последнее положение полностью освещено в справочнике 1993 г., учебнике О. Адаменко и Г. Рудько (1998), учебном пособии Г.И. Рудько и И.П. Гамеляки (2003), и здесь будут лишь сделаны соответствующие ссылки и расставлены акценты.

Окружающей средой (ОС) принято называть совокупность природных, социальных (включая среду жизнедеятельности человека) и техногенных факторов и условий существования человеческого общества, а также материальных объектов и явлений, оказывающих влияние на человека и его хозяйственную деятельность. К природным компонентам ОС относятся географическое положение, устройство поверхности, климат местности, его минеральные, энергетические и водные ресурсы, почва, воздух, животный и растительный мир. Частично эти компоненты в той или иной степени могут быть изменены человеком (распашка земель, осушение болот, вырубка леса, нивелирование рельефа и др.); в этом случае говорят об измененной, или техногенной ОС. В данное понятие входят также социально-экономические компоненты, которые определяют форму и объем обмена материальными продуктами, энергией, информацией. Средой жизнедеятельности человека называют ОС территории населенных пунктов, земель сельхозугодий,

курортных и рекреационных зон, водных объектов, предназначенных для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Исходя из этого, выделяют социальную ОС, которой называют совокупность социально-бытовых условий жизнедеятельности людей, социально-экономических отношений между ними.

Геологическая среда (ГС) является лишь составной частью окружающей среды. Это главный объект изучения экологической геологии, одно из основных определяющих ее понятий. ГС называют верхнюю часть литосферы и подземной гидросферы, которая находится под воздействием хозяйственной деятельности человека и в известной мере определяет ее. Данная многокомпонентная система включает недра, размещенные в них подземные воды, полезные ископаемые и другие интересующие человека объекты. Она активно взаимодействует и пространственно переплетается с биосферой, гидросферой, атмосферой. Верхней границей ГС принято считать земную поверхность, а нижняя определяется глубиной техногенного проникновения в литосферу — до 1–1,5 км в районах горнодобывающих работ и до 3–5 км и более в областях нефтегазодобычи.

Основными компонентами геологической среды являются минеральное сырье, подземные воды и недра, подверженные техногенному воздействию. Она активно преобразуется человеком, и этот процесс получил даже специальное определение — геологическая деятельность. В задачи экологической геологии входит изучение не только природного, но и техногенного воздействия на ГС и недра. Продуктивное использование и охрана как окружающей, так и геологической среды возможны в современных условиях лишь при количественной оценке воздействия на них.

Вместе с тем, ресурсы литосферы необходимы для нормального развития органического мира в целом. Ее составными частями следует считать почвы, биофильные элементы, поваренную соль, другие компоненты. Если давать широкую трактовку понятию «экологическая геология», то такие элементы литосферы, как вулканы, должны рассматриваться как возможный источник образования гидросферы, а устойчивое вулканическое тепло — как условие для зарождения жизни на Земле. Оно же является источником тепловой энергии, которая лишь частично начинает использоваться человеком. Соответственно, сейсмические зоны недр можно трактовать как фактор отрицательного воздействия на жизнь человека, а также, некоторые группы организмов, что наблюдается в условиях проявления цунами. А учение о «Дыхании Земли» могло бы расшифровать природу и механизм неорганического происхождения нефти и газа. Однако современная экологическая геология ориентирована на решение преимущественно прикладных вопросов.

Оценка воздействия выполняемой и планируемой деятельности на окружающую природную среду (ОВОС) должна быть в такой ситуации разной и многоплановой; она будет различной для геологической, водной и воздушной среды, почв и других ее компонентов. В задачу такой оценки входит определение масштабов и уровней воздействия проектируемой деятельности на окружающую среду, разработка мероприятий по предотвращению или уменьшению вредных воздействий, оценка приемлемости проектных решений с экологической точки зрения. ОВОС включает нормирование техногенного воздействия на ГС (санитарно-гигиеническое, биологическое),

разработку критериев оценки эколого-геохимических условий. Показатели экологически неблагоприятных изменений могут быть разными и должны учитывать результаты действия природных геологических процессов и техногенеза, или геологической деятельности человека. Для всех этих случаев уже разработана сложная и многоплановая система ОВОС, существует большая группа специальных документов.

Оценка состояния ГС дополняется экологическим мониторингом, который включает создание системы наблюдательных баз и центров. Для определения условий такой деятельности предусматривается геохимический, геодинамический, гидрогеологический и другие виды мониторинга. Иногда комплекс таких наблюдений называют литомониторингом. В нем, как правило, задействованы сейсмические и вулканологические станции, пункты гидрогеологических и геодинамических наблюдений, другие службы по решению тех или иных конкретных вопросов. Частично об этом шла речь при рассмотрении инженерной геологии.

В Украине подобные мероприятия наиболее важны в районах Крыма и Карпат. Именно поэтому первый в стране научный комплекс по литомониторингу был создан в 1984 г. Министерством геологии СССР в Никитской расселине Крыма. В его задачу входила организация наблюдений за динамикой, условиями формирования и деятельности подземных вод, слежение за оползнями, разработка мер борьбы с разрушительной работой моря и поверхностных водотоков в курортных районах полуострова, анализ сейсмической обстановки с предсказанием землетрясений и критических величин проседания (предупреждение провалов). В США своеобразные экогеологические наблюдения ведутся за характером перемещений в зоне разлома Сан-Андреас, которые позволяют прогнозировать сейсмические проявления. Для прилежащих к Юго-Восточной Азии акваторий разрабатываются планы прогнозирования землетрясений и цунами.

Одним из направлений оценки состояния ГС является проведение специализированного эколого-геологического картирования. Составление таких карт предусматривает характеристику геодинамических свойств природных комплексов и гидрогеологической обстановки, определение ландшафтно-геохимических условий, отображение других геоэкологических показателей. Оно включает также картографическое моделирование техногенных факторов и разработку инженерной геокибернетики – регулируемого контроля за состоянием геологической среды. Составным элементом всех таких построений и вычислений является предвидение экологического риска для разных случаев использования ГС.

В числе вопросов экологической геологии находится изучение устойчивости природной (в частности – геологической) среды, ее способности к самовосстановлению. Если такие компоненты окружающей среды, как животный и растительный мир, могут быть при определенных условиях восстановлены, то геологическая среда не подлежит восстановлению в полной мере. Можно говорить лишь о природном восстановлении режима подземных вод, состояния атмосферы и биосферы в местах деятельности человека. Единственным компонентом ГС, условно подлежащим естественному восстановлению, являются лишь изымаемые подземные воды. Частичному восстановлению подлежат также почвы.

Наконец, экологическая геология включает решение правовых вопросов в связи с использованием недр и охраной геологической среды. Структура природоохранного законодательства достаточно сложна. Она включает соблюдение законов и кодексов Украины, ратифицированных страной международных конвенций и соглашений, которые связаны с использованием и охраной недр. В стране утвердилась система составления ТЭО или ТЭД (технико-экономическое обоснование или доклад), что предшествует разведке или введению месторождения в эксплуатацию. Главными в таких документах являются положения о земельном отводе, утвержденных запасах полезных ископаемых, полноте извлечения разрабатываемого полезного ископаемого, соблюдение положений об охраняемых территориях. Естественно, что выполнение всех этих мероприятий предполагает знание юридической ответственности за экологические нарушения.

Природные процессы, их возможные негативные последствия

Природные процессы изучают физическая география и динамическая геология; их краткая характеристика была приведена в главе 5. Те из них, проявления которых являются опасными для человечества, попадают в разряд катастрофических и становятся предметом геоэкологических исследований. Это, в первую очередь, такие эндогенные процессы, как вулканизм и землетрясения, а также деятельность подземных вод, обуславливающая оползни и карст, или поверхностных вод, рождающая селевые потоки в горных районах, наводнения, цунами. Все подобные процессы становятся опасными, если строительство выполнено без их учета, в так называемой опасной зоне. Иногда подобные катастрофы — результат технических или инженерно-геологических просчетов (например, разрушение плотины речным паводком, строительство зданий без учета сейсмичности района). Все подобные явления становятся предметом геолого-экологических наблюдений.

Анализ человеческих жертв в результате природных катастроф показывает, что больше всего человек страдает от водной стихии — наводнений и цунами. Это естественно, так как большинство поселений сосредоточено в долинах крупных рек, способных обеспечить развитие сельского хозяйства, или на живописных морских побережьях, удобных для отдыха. Достаточно коварной оказывается и внешне незаметная сейсмичность, которая, однако, может проявляться эпизодическими катастрофами.

Землетрясения часто разрушали большие города. Кроме того, их предсказание пока еще находится в стадии разработки. Зачастую число жертв определяется не силой землетрясения, а неподготовленностью самих городов и населения к этому стихийному бедствию.

Поселение по соседству с действующими вулканами — это очевидный риск. Тем не менее, жители многих красочных районов Средиземноморья, восточных окраин Индийского океана или западных окраин Америки пренебрегают опасностью такого соседства.

Общий итог природных катастроф таков: за последнее столетие от наводнений в мире погибло 9 млн человек, от землетрясений и ураганов — 2 млн человек, от вулканических извержений до 50000 человек, от засух до 2 млн человек. Таким образом, число жертв катастрофических процессов,

связанных с воздействием гидросферы, почти на порядок превышает количество погибших в результате событий в недрах, литосфере.

Общая характеристика главных природных катастрофических процессов приведена в таблице 7. Их перечисление показывает, что для большинства районов Украины почти все эти опасные проявления не типичны. Вместе с тем, во многих районах страны в последние годы зафиксированы значительные оползни, проявленные в Днепропетровске, Киеве, Черкасской, Харьковской, Полтавской и других областях. В горных районах Карпат после длительных дождей и паводков в 1998 и 2001 гг. происходило сползание склоновых отложений; этот процесс также напоминает оползни. Все подобные природные проявления характерны обычно лишь для отдельных районов. Значительная сейсмичность возможна лишь в Крыму, частично — в Карпатах. Для отдельных мест этих же районов возможны селевые потоки и обвалы. Наконец, при проведении строительства необходимо учитывать возможные проявления карста, а также просадки в лёссовых породах и подтопления.

Кроме природных процессов, трактуемых как катастрофические, существует достаточно большая их группа, которая может относиться к негативным. Относительно небольшие по объему их проявления обычно не рассматриваются как катастрофические; такую угрозу несут лишь значительные масштабы распространения и проявления. К их числу следует относить наступание моря или пустынь, засоление почв или сокращение почвенного слоя, изменение климата в результате нарушения растительного покрова, разрастание или сокращение водных бассейнов, другие естественные или техногенные экологические изменения окружающей среды. Такие вопросы в большинстве своем изучает географическое направление экологии (геоэкология). Однако геология, владеющая более полной палеогеографической информацией, зачастую самостоятельно берется решать их.

Примерами естественного изменения окружающей среды может быть разрастание пустынь, которое наблюдается уже в период существования человека, изоляция отдельных морских бассейнов и изменение солёности их вод, что мы видим при ликвидации бассейна Паратетис и образовании из его частей Аральского и Каспийского морей, залива Карабугазгол в составе последнего или залива Сиваш в Черном море. В течение четвертичного периода фиксируется достаточно большое количество потеплений и похолоданий, резко меняющих экологическую обстановку на больших площадях. В настоящее время сокращается ледяной покров в Антарктиде и на вершинах гор. В ряде случаев природные процессы ускоряются или усугубляются деятельностью человека, выразительными примерами которой является резкое сокращение площади Аральского моря, искусственное создание испарителей на Сиваше, осушение заболоченных площадей в Полесье.

Вымирания в органическом мире прошлого (палеоэкология)

Важную информацию о проявлениях природных катастроф прошлого, приводящих к вымираниям или другим изменениям в развитии органического мира, дает историческая геология и палеонтология. Изучением этого направления развития органического мира занимается палеоэкология. Анализ эволюционного развития позволяет устанавливать в нем

Таблица 7. Сведения о природных процессах, которые могут сопровождаться катастрофическими последствиями

Название природного явления	Форма проявления, его катастрофические последствия	Мера предупреждения
Землетрясения (ЗТ)	Разрушения построек, сопровождаемые иногда многочисленными жертвами	Строительство с учетом сейсмичности района. Предсказание ЗТ
Вулканические извержения (ВИ)	Пепловые выбросы, способные иногда захоронить города (Помпея и др.), потоки лавы	Строительство с учетом безопасности размещения. Предсказание ВИ
Паводки, наводнения	Разливы рек, сопровождающиеся затоплением больших площадей	Предупреждение о возможности наводнений, строительство дамб и других сооружений
Оползни	Сползание отдельных участков верхних слоев с разрушением построек	Строительство с учетом возможного сползания, создание дренажных колодцев и проведение других мер предупреждения
Карст	Просадка и провалы отдельных участков над подземными пустотами	Строительство с учетом знаний о проявлении на территории этого процесса
Селевые потоки	Периодические грязекаменные потоки в горных районах, наступающие после обильных ливней	Строительство противоселевых дамб, учетывание возможного проявления селевых потоков
Обвалы в горах, снежные лавины	Катастрофические обрушения каменного и снежного материала, иногда способные засыпать прилежащие постройки	Строительство в безопасных районах, посещение гор в «спокойное» время года
Цунами, ураганы прибрежных районов	Катастрофические затопления прибрежных районов	Строительство в безопасных районах, прогноз и своевременное предупреждение

многочисленные массовые кратковременные вымирания отдельных групп животных или растений и наоборот — экологические взрывы, расцвет каких-то других их групп. Начавшееся еще в начале XIX ст. изучение подобных вымираний породило даже научное направление, именуемое катастрофизмом. Его долго отрицали, объясняли неполнотой геологической летописи. На протяжении длительного времени эволюционное учение и катастрофизм противопоставлялись друг другу, были предметом жарких споров между сторонниками этих двух направлений. Однако в последние десятилетия явление больших вымираний было доказано количественными подсчетами и даже были выявлены возможные причины подобных катастроф прошлого.

Наиболее полно изучено развитие органического мира последних 600 млн лет, или так называемого фанерозоя. В числе наиболее крупных или великих вымираний этого времени были события на границе палеозоя и мезозоя, а также мезозоя и кайнозоя. Они даже позволили разделить фанерозойскую геологическую историю на три эры — палеозойскую, мезозойскую и кайнозойскую (эры древней, средней и новой жизни). В частности, на границе палеозоя и мезозоя исчезло около половины семейств и свыше 90 % родов морских животных, в конце мезозоя — свыше 16 % семейств, около 44 % родов и около 90 % их видов. В том числе почти полностью погибли такие группы организмов, как динозавры, аммониты, белемниты. Необходимо подчеркнуть, что подобные вымирания сопровождались последующим расцветом новых групп. Так, к кайнозою относится расцвет млекопитающих, птиц, насекомых, цветковых растений.

Среди возможных причин этих и других подобных одновременных вымираний разных групп организмов историческая геология называла разные причины: резкие и кратковременные сокращения морских площадей, климатические изменения, активный вулканизм, приводящий к запылению атмосферы и даже существенным похолоданиям, и многие другие. Естественно, что ни одно из таких явлений не могло быть причиной массовых глобальных вымираний. Например, климатические изменения могли приводить к сокращениям или возрастаниям площадей развития тепло- и холодолюбивых форм, но не их гибели в целом. А регрессии могли быть причиной гибели каких-то морских организмов, но не динозавров.

В последнее время в качестве универсальной причины подобных катастроф называется бомбардировка Земли крупными метеоритами. Устанавливается даже определенная периодичность подобного явления, равная 26 млн лет. Во время каждой из таких бомбардировок на Земле фиксировалось падение до 4–5 крупных метеоритов (в действительности их было больше, но не все следы их падения сохранились). Последняя из таких крупных бомбардировок была 11–14 млн лет назад. Интересно, что при падении крупных метеоритов в океанический бассейн не только происходили гигантские цунами, но и в результате размыва прибрежных отложений создавался эффект регрессий.

Менее значительные события — падение мелких космических тел и совпадающая с ним по времени сейсмо-вулканическая активизация — фиксируются и в геологической истории четвертичного периода, проявляясь в последние его этапы с периодичностью 6,5 тыс. лет. В частности, космическая и сейсмо-вулканическая деятельность, имевшая место 10 тыс. лет назад, могла

стать причиной не только голоценового потепления, но и гибели определенных видов организмов, в числе которых были мамонты и некоторые приполярные виды млекопитающих. С сейсмо-вулканическими событиями, происходившими 3,5 тыс. лет назад (взрыв вулкана Санторин в Эгейском море, предположительное землетрясение в Индостане), связывается гибель двух из трех существовавших ранее цивилизаций. Интенсивный вулканизм зафиксирован 23, 49, 74 тыс. лет назад. Не исключено, что в связи с пока не изученными событиями, расчетная величина которых составляет 30, 36 и 42 тыс. лет, могла произойти смена неандертальцев кроманьонцами.

Подобные знания важны для прогнозирования развития органического мира в будущем и для безопасности человека, являющегося наиболее уязвимым его представителем. Земля уже многократно испытывала различного рода бомбардировки, но к гибели живого в целом, ожидаемым и прогнозируемым апокалипсисам это не привело. Однако игнорировать подобную опасность не следует. Ведь если событие типа падения Тунгусского метеорита произойдет в населенном районе, тот будет уничтожен. Некоторые астрономы подсчитывают, что вероятность встречи Земли с астероидом примерно равна возможности авиакатастрофы. Определенным успокоением в данном случае может быть то, что современный уровень науки позволяет не только своевременно подсказать возможность такой встречи, но и предложить мероприятия по устранению возможных катастрофических последствий. Человечество должно быть готово к проявлению таких событий: необходимо изучать их вероятность, масштабы и последствия, а также предупреждать их, используя свои знания и возможности.

Геологическая деятельность человека

Деятельность эта очень многообразна, а масштабы ее проявления во многих районах весьма велики. Она получила название техногенеза; иногда также используется термин «антропогенез» (греч. — «рожденный человеком»). Поскольку масштабы современного техногенеза в недрах сравнимы с природными процессами, их в последнее время называют геологической деятельностью человека. Результаты ее можно наблюдать практически во всех обжитых регионах, в том числе почти во всех промышленных и сельскохозяйственных районах Украины. Под геологической деятельностью человека понимаются результаты производимого им преобразования природы и геологической среды, строительства, разработки полезных ископаемых, создания водоемов и других мероприятий, которые в той или иной степени нарушают сохранность недр, режим ее подземных вод, изменяют рельеф, ускоряют или замедляют природные процессы. Попробуем систематизировать и хотя бы кратко охарактеризовать главные виды геологической деятельности.

Сельскохозяйственное использование земель можно рассматривать как одно из древнейших направлений геологической деятельности человека, масштабы которой сейчас, вероятно, наибольшие. Оно, как правило, сопровождается уничтожением или резким сокращением естественного растительного покрова, в том числе ликвидацией лесов. Ярким примером такого случая может быть подготовка пахотных земель на Харьковщине,

где со времен освоения «Дикого поля» площади лесов сократились вдвое. Распашка земель является причиной активизации ветровой и водной эрозии. Агрохимические мероприятия, включающие использование удобрений и пестицидов, а также дренажные, мелиоративные, ирригационные работы, оказывают существенное воздействие на режим и состав подземных вод, в том числе на их чистоту. Гидротехническая мелиорация (осушение или орошение земель) может стать причиной засоления почв и грунтов. Как правило, в результате такой деятельности могут ликвидироваться некоторые экосистемы (заболоченные участки и др.), что нарушает не только микроклимат, но и общее природное равновесие в районе.

Вероятно, наибольшее воздействие на недра оказывают поиски, разведка и разработка полезных ископаемых. Выполнение горных работ и бурение нарушают природное равновесие изучаемых площадей, в том числе могут быть причиной загрязнения подземных вод. Еще большие масштабы таких нарушений сопровождают разработку полезных ископаемых. Строительство карьеров при открытых методах разработки сопровождаются нарушением почвенного покрова, созданием отвалов из вскрыши и непродуктивных пород, что становится причиной запыления атмосферы, нарушения режима подземных вод. Подземные методы разработки, сопровождаемые строительством шахт и штолен, ставят проблему ликвидации шахтных и рудничных вод, имеющих иногда повышенную минерализацию, а также отвалов, строительство терриконов. Дополнительные осложнения возникают при газовых выбросах в процессе эксплуатации угольных шахт, а также при образовании просадок и провалов в пределах шахтного поля. Сложные экологические вопросы возникают при консервации или ликвидации отработанных шахт и штолен, а также карьеров. В последнем случае предусмотрено возвращение в выемки отвалов ранее снятого почвенного покрова, а также создание водоемов, пахотных земель или лесонасаждений.

Специфические экологические проблемы возникают при разведке и разработке нефтегазовых месторождений. Кроме нарушения почвенного покрова здесь зачастую имеют место межпластовые перетоки, загрязнение почв, поверхностных и подземных вод выбросами нефти, конденсата, минерализованных вод. Для районов длительной эксплуатации таких месторождений характерно проседание земной поверхности, что иногда может сопровождаться активизацией природных процессов – например, землетрясениями в районах Денвера (США). Катастрофический характер могут иметь аварийные выбросы нефти и газа. Их примерами могут быть события на Качановском и Крестищенском месторождениях ДДВ. Дополнительным фактором нарушения и загрязнения геологической среды является строительство и эксплуатация нефте- и газопроводов.

Поиски и разработка полезных ископаемых ставят проблему рекультивации геологической среды, которая также становится одним из видов геологической деятельности. Она предполагает приведение площади отработанного месторождения в первоначальное состояние, а иногда и придание ей более привлекательного вида. Обычно она включает возвращение на место снятой и ранее перенесенной вскрыши и непродуктивных пород, а также ранее собранной и сохраненной почвы. Другие виды и формы рекультивации предполагают создание здесь искусственных водоемов либо лесопосадки

или возвращение земель в сельскохозяйственное использование. В условиях шахтных районов Донбасса производится нивелирование терриконов и их озеленение.

Особую группу техногенной нагрузки на недра оказывает гидротехническое строительство. Оно включает создание водохранилищ (для работы гидроэлектростанций, питьевого и промышленного водоснабжения), строительство плотин, транспортных каналов и водоводов, системы региональных и локальных прудов, производственных отстойников, других сооружений. Основными видами нарушения геологической среды при этом строительстве являются изменение режима грунтовых вод (в том числе подтопление прилежащих площадей), активизация процессов инфильтрации, заболачивание, возможность загрязнения подземных вод, увеличение нагрузки на недра. Среди задач этого направления геологической деятельности нужно назвать предохранение береговых зон водохранилищ от разрушения, инженерно-геологическую и техническую устойчивость плотин как основу предотвращения экологического риска и катастроф.

Разнообразным и многоплановым воздействием на геологическую среду является жизнедеятельность человека. Направлениями такой деятельности становится жилищное, промышленное и дорожное строительство, следствием чего бывает нарушение почвенного покрова, растительного и животного мира, режима подземных вод, дополнительная техногенная нагрузка на грунты и недра. Одним из признаков такой деятельности становится изменение рельефа в местах проживания и трудовой деятельности человека (нивелирование поверхности или наоборот – создание насыпей, водоемов, террас). Среди главных проблем данного техногенеза нужно назвать ликвидацию бытовых и промышленных отходов, сточных и промысловых вод, необходимость строительства отстойников, шламонакопителей, хвостохранилищ и других сооружений. Особо сложными являются вопросы ликвидации вредных отходов производства, которые нередко требуют специальных мероприятий (переработка, захоронение в глубокие горизонты и др.).

Большинство видов геологической деятельности человека оказывает отрицательное воздействие на недра, нарушает равновесие в окружающей среде. Однако ее нельзя рассматривать как только негативную. Человек по возможности исправляет последствия техногенеза (рекультивация нарушенных разработкой полезных ископаемых земель, удаление или нивелирование отвалов при разработке полезных ископаемых, а также лесопосадки на их месте). Кроме того, человек исправляет вредные, по его мнению, природные процессы, мешающие его проживанию. Такая деятельность многообразна; она включает охрану пляжа от разрушения морем в курортных районах, строительство противоэрозионных и противоабразионных сооружений, сохраняющих морской или речной берег и его постройки. В местах, подверженных оползням, он создает дренажные противооползневые колодцы или бетонные опоры, сдерживающие этот процесс, а в горных районах строит различные ограды (навесы, стены, тоннели), предохраняющие от камнепадов и селевых потоков. Наконец, строительство ландшафтных и других парков, создание водоемов, изменение разрушающегося рельефа, насаждение новых растительных комплексов и другие явления должны рассматриваться как улучшение окружающей среды.

Инженерно-геологические и экогеологические исследования

В последние десятилетия инженерно-геологические работы и картирование экологических параметров геологической среды становятся приоритетным направлением исследований по охране окружающей среды и в решении проблемных вопросов рационального природопользования. В инженерной геологии также оформляется новое направление – экологическая геология. Человечество активно влияет на геологическую среду, зачастую превышая природные процессы по масштабам воздействия. Все это требует новых подходов и специального изучения.

Высокая плотность техногенно-геологических систем характерна для геологической среды Украины. Достаточно напомнить, что, занимая менее 3 % площади СССР, она производила до 20 % валового продукта, в том числе 50 % руд черных металлов, 30 % угля; здесь широко развивались малые энергетические, химические и другие ресурсоемкие отрасли. По оценкам Госкомгеологии Украины («Геопрогноз», УкрНИМР и др.), за последние 25–30 лет на территории страны в 2–3 и более раз возросло число оползневых, карстовых, просадочных объектов, постоянно подтоплено более 1 млн га земель, на которых размещается бо-лее 1,5 тыс. сел и до 200 городов и поселков. Разрабатывается около 4 тыс. разных месторождений. Следствием Чернобыльской аварии стало оседание на нашей площади около 20–25 % долгоживущих радионуклидов.

Главное место в инженерно-геологических и эколого-геологических работах отводится картированию геологической среды и определению ее параметров. Вводится понятие о техногенно-геологической среде (ТГС). В ее составе выявляются три основные группы факторов: механические, связанные преимущественно с добычей полезных ископаемых и функционированием инженерных сооружений, физические, обусловленные развитием техногенных полей и явлений (тепловых, электрических, магнитных, гравитационных, радиационных и др.), и химические, вызванные загрязнением компонентов геологической среды. В настоящее время на Украине есть ряд сложных объектов и площадей ТГС, каковыми являются Донбасс, Кривбасс, Предкарпатье, Полесье и др. В составе таких систем или самостоятельно обособляются локальные промышленно-городские агломерации (Киев, Донецк и др.), объекты тепловых атомных и гидроэлектростанций (Чернобыльская, Ровенская, Запорожская АЭС, гидроэлектростанции на Днепре и др.).

Основными задачами инженерно-геологических и экогеологических исследований становятся: 1) изучение и картирование площадей с разной степенью техногенного воздействия; 2) оценка состояния ГС и влияния происходящих природных процессов на экологическую ситуацию; 3) оценка совокупности природных и техногенных факторов ГС, которая определяет функционирование ТГС; 4) оперативное информирование государственных и природоохранных органов, общественных организаций об экологически опасных обстановках и неблагоприятном развитии инженерно-геологических процессов; 5) разработка рекомендаций по ограничению и предупреждению неблагоприятных и опасных геологических и техногенных процессов.

Инженерно-геологические и эколого-геологические исследования в Украине выполняются давно. Уже в послевоенные годы началась целенаправленная организация сети наблюдательных гидрогеологических скважин, общее количество которых в настоящее время составляет около 7000. Наряду с высокой эффективностью работ в этом направлении необходимо их усовершенствование. Принятая в 1984 г. программа развития в Украине исследовательских полигонов, один из которых размещался в Крыму, не имела научного обоснования. Многие из запланированных работ не финансируются. Все это требует не только активизации таких исследований, но и четкой их координации, комплексного подхода к решению многих из них.

Подземные воды и основы экологической гидрогеологии

Особенностью подземной гидросферы является естественная возобновляемость запасов извлеченных подземных вод, что позволяет при правильной эксплуатации считать их неисчерпаемым полезным ископаемым или сырьем. Вместе с тем, такие воды подвержены непрерывному, не всегда заметному и трудно восстанавливаемому загрязнению, которое происходит почти при всех видах геологической деятельности человека. Это заставляет выделять экологическую гидрогеологию в качестве самостоятельного и важного направления экогеологии. Попробуем систематизировать возникающие при этом вопросы и обратить внимание на данный аспект существования геологической среды.

Подземные воды являются причиной весьма разнообразных геологических процессов, часть которых может оказывать вредное воздействие на жизнедеятельность человека. Среди них следует отметить оползни, которые затрудняют или делают невозможным строительство в местах их проявления. Это явление может активизироваться в условиях техногенеза (возрастание нагрузки на недра, нарушение режима подземных вод). Близким процессом можно считать суффозию, что требует учитывать инженерно-геологические условия грунтов в местах ее проявления. То же относится к карсту, затрудняющему строительство и разработку месторождений известняков на закарстованных площадях.

Регулирование режима подземных вод становится зачастую методом улучшения геологической среды. Так, дренаж позволяет в ряде случаев создавать пригодные для сельскохозяйственного использования земли. В результате природных процессов или неправильно организованной ирригации (орошения) может происходить засоление почв и грунтов, следствием чего является вывод их из сельскохозяйственного использования. Особые инженерно-геологические условия существуют в районах многолетней (вечной) мерзлоты, что также является результатом деятельности подземных вод. Наконец, в условиях крупных городов, гидроэлектростанций или водоемов существует проблема подтопления, когда высокий уровень подземных вод меняет инженерно-геологические условия грунтов и затрудняет строительство и функционирование подземных коммуникаций.

Подземные воды, как правило, затрудняют разработку месторождений полезных ископаемых. Ранее уже говорилось о шахтных и рудничных водах, поступление которых на поверхность может приводить к засолению почв

и грунтов. Эти же работы нарушают режим подземных вод, могут в ряде случаев стать причиной их загрязнения. Многообразие возникающих при этом вопросов стало причиной того, что в учении о подземных водах выделяются как самостоятельные направления нефтегазовая, шахтная, мелиоративная и другие гидрогеологии.

Важнейшей проблемой экологической гидрогеологии является изучение условий загрязнения и разработка мероприятий по ее предотвращению. Основным фактором такого загрязнения является геологическая деятельность человека, главные направления которой рассматривались ранее. В числе основных мероприятий охраны подземных вод – элементарное выполнение технических требований разведки и разработки полезных ископаемых, строительства, промышленного и сельскохозяйственного производства. Водовмещающие горизонты обладают очень важной способностью – быть естественным фильтром, предохраняющим воды от загрязнения. Однако такая способность не является неограниченной, а в ряде случаев загрязнение становится необратимым.

Подземные воды рассматриваются как один из видов полезных ископаемых, роль которых для многих регионов и районов является не просто важной, но и определяющей. Поэтому не менее важным, чем фактор техногенного загрязнения, является правильно регулируемый отбор этих вод при их эксплуатации. Если отбор подземных вод в течение длительного времени будет резко превышать величину их поступления в горизонт (бассейн), то это может привести либо к их загрязнению при поступлении глубинных засоленных вод, либо к истощению запасов или даже гибели водоносного горизонта. Одним из вариантов недопущения такого явления может быть искусственное восполнение запасов подземных вод путем закачки в соответствующие горизонты поверхностных вод, их магазинирование.

Геоэкологическое моделирование, картирование и районирование

Особенностью геологической среды является ее способность накапливать в своей системе практически все виды воздействия техногенеза. В числе важных направлений изучения такого явления – геоэкологическое картирование и районирование, составление различного рода моделей техногенной нагрузки и других показателей состояния недр. Основной задачей карты техногенной нагрузки является отображение на ней особенностей использования территории в зависимости от технологии существующих производств, систем сброса, отходов и др.

В зависимости от территориальной организации природного комплекса, масштабов и специфики техногенного воздействия на таких картах и в легенде принимаются таксоны разного порядка. На них изображаются: 1) крупные природно-техногенные комплексы; 2) территории с концентрацией однотипной хозяйственной деятельности; 3) техногенные источники на площади; 4) локальные объекты хозяйственной деятельности, которые разделяются на промышленные, сельскохозяйственные, горнотехнические, гидротехнические и водохозяйственные; 5) точечные объекты хозяйственной деятельности, которые также разделяются на аналогичные группы. Выполнение таких работ требует введения понятия о природно-техногенном комплексе, под которым понимают сложную систему взаимодействия характерных антропогенных факторов и элементов окружающей среды.

Важное место в эколого-геологическом картировании занимают методы дистанционного зондирования земной поверхности. По данным космоснимков производится выделение площадей с разным характером природного воздействия, а также получение оперативных моделей состояния геологической среды и ее трансформации под воздействием техногенеза. В числе методических приемов такого изучения следует отметить возможность и целесообразность анализа отдельных площадей с интервалом наблюдений в 5–7 лет. По данным дешифрирования составляются карты современного состояния природных комплексов и их техногенных модификаций, динамики ландшафтов, которые могут быть базовыми для создания геоэкологических моделей, комплексных схем мероприятий по охране и рациональному использованию геологической среды.

Назначение и содержание эколого-геологических карт может быть самым различным. Различают карты национального, регионального, локального и объектного уровней изображаемой информации. В целом эколого-геологическая карта фиксирует природную обстановку (общегеологические, геохимические, гидрогеологические, инженерно-геологические и другие закономерности) в аспекте стойкости геологической среды к техногенным трансформациям, отражает характер такого воздействия, способы профилактики, возможные последствия хозяйственной деятельности. Естественно, что назначение и содержание всех этих карт определяется масштабом картирования и объектом экогеологического анализа.

Комплект эколого-геологических моделей, разработанных для условий Украины, может включать: 1) карту распаханности территории; 2) схему капитальных вложений, предусмотренных для охраны и рационального использования природных ресурсов; 3) карту загрязнения окружающей среды выбросами в атмосферу; 4) карту загрязнения поверхностных вод сточными водами; 5) карту эколого-географической ситуации. При районировании изучаемой территории выделяются районы условно чистые, умеренно загрязненные, загрязненные, сильно загрязненные, чрезвычайно загрязненные, экологического бедствия и экологической катастрофы.

Особое направление составляет эколого-геодинамическое картирование. При этом виде работ особое внимание уделяется разработке моделей природных факторов развития геологической среды, так как техногенная нагрузка обычно накладывается на определенный естественный фон. В данном картировании предусмотрено изучение эндогенных (обычно — землетрясений, вулканических извержений, смещения земной поверхности) и экзогенных факторов. В числе наиболее изученных структур является разлом Сан-Андреас, скорость смещения по которому при землетрясениях достигает 3 см в год. Исследования, которые проводились в районе Ашхабада (1948), Спитака (1988), на других армянских полигонах, показали возможность широкого использования дистанционных съемок Земли. Аналогичным примером картирования может быть нанесение площадей излияния лав разного возраста в районах действующих вулканов. В группе экзодинамических процессов предметом картирования являются оползни, карст, суффозия, русловая и боковая эрозия, абразия и др.

Эколого-геологическое картирование масштаба 1:200000 выполняется в пределах тех территорий, которые испытывают заметную техногенную нагрузку, характеризуются различиями в состоянии геологической среды.

Конечной моделью подобных построений становится среднemasштабная эколого-геологическая карта, основой которой является районирование территории по ее экологическим параметрам с учетом природных условий и техногенных трансформаций геологической среды. Основное содержание такой эколого-геологической карты имеет следующие основные блоки геоинформации: 1) ведущие факторы динамики геологической среды; 2) экологическое состояние геологической среды по природным факторам; 3) экологическое состояние ГС по техногенным факторам; 4) природные территории и объекты, находящиеся под охраной.

Экологическая геология Украины

Отдельные вопросы и проблемы геоэкологии в стране уже неоднократно рассматривались ранее; здесь приводится обобщение и систематизация такого материала. Региональные особенности Украины с точки зрения интересов экологической геологии могут быть охарактеризованы следующим образом. 1) Высокая степень нагрузки на недра в связи с разработкой разнообразных полезных ископаемых. Ранее уже подчеркивалось, что она на порядок выше мировой (около 0,5 % территории и 5 % добываемых полезных ископаемых). Характер разработки самый разнообразный: он включает шахты Донбасса и Львовско-Волынского бассейна, карьеры Криворожья и Днепровского угольного бассейна, газовые месторождения ДДВ, получение соляной рапы в бассейнах Сиваша и др. 2) Наличие крупных рек и высокая степень их гидротехнической и гидроэнергетической освоенности. Она обусловлена каскадом гидроэлектростанций на Днепре, существованием в стране многочисленных мелких водохранилищ, региональных водоемов и каналов. 3) Высокая степень сельскохозяйственной освоенности земель Украины с неравномерными климатическими условиями, которые требуют орошения в одних регионах и осушения в других. 4) Важная роль подземных вод в водоснабжении многих районов и крупных городов, а также решение проблем подтопления промышленных и городских территорий, проявление процессов карста и оползней. 5) Большое разнообразие природных процессов, воздействующих на места проживания человека или использование им каких-то территорий. В их числе необходимо назвать проявления сейсмичности, сели и паводки в Горном Крыму и Карпатах, а также в долинах крупных рек, необходимость сохранения морских и речных побережий, озер и лиманов с лечебной грязью в курортных районах Крыма, Приазовья и Причерноморья, охрану почв от водной и ветровой эрозии.

Данная ситуация стала причиной того, что в Украине начала активно развиваться экологическая геология, создано большое количество научно-исследовательских учреждений данного профиля. Уже в 1993 г. появился справочник по экологической геологии Украины, в 1998 г. – учебник по экологической геологии, а также большое количество сводок по отдельным экогеологическим проблемам тех или иных городов и регионов. Среди крупнейших НИИ экологического профиля необходимо назвать УкрНИИЭП (институт экологических проблем), УкрВОДГЕО, УкрГИИНТИЗ, «Укргипроруда», «Укргидропроект» и др. В 1984 г. в Крыму были созданы научный комплекс и служба литомониторинга. С конца 1980-х гг. начата разработка методов геоэкологического картирования.

Среди главных проблем экологической геологии в Украине необходимо назвать: 1) решение разнообразных вопросов, связанных с воздействием подземных вод на геологическую среду (подтопление, засоление почв и грунтов, нарушение их режима в связи с разработкой месторождений полезных ископаемых, строительством гидроэлектростанций и водохранилищ), охрана их от загрязнения; 2) предотвращение вредного воздействия природных процессов на геологическую среду (водная и ветровая эрозия почв, разрушение морских и речных побережий в курортных и других районах страны, селевые потоки в горных районах, наводнения); 3) безопасное ведение разработки полезных ископаемых, устойчивость инженерно-геологических сооружений; 4) разработка и воплощение в жизнь мер рационального использования минерально-сырьевых ресурсов. Необходимо считать эколого-геологическое образование достаточно важным для условий Украины.

Медицинская экология и геологическая среда

Самостоятельным направлением рассматриваемого учения является медицинская экология (МЭ). Она развивается на стыке медицины и социальной экологии и предусматривает решение большого круга вопросов. Среди них — нормативы загрязненности окружающей среды, изучение радиоактивного фона геологической среды, нормативная разработка положений о возможности использования поверхностных и подземных вод, определение в них предельно допустимой концентрации вредных веществ, обоснование лечебных свойств некоторых подземных вод. Поскольку ряд главнейших разделов и вопросов МЭ базируется на использовании геологической среды или знании ее особенностей, их целесообразно рассмотреть в рамках экологической геологии.

В Украине одной из первых работ, в которой сделана попытка увязать состояние геологической среды со здоровьем населения, следует признать составление «Кадастра и атласа карт медико-экологических аномалий на территории Одесской области», который был подготовлен и издан Одесским эколого-геологическим центром (А. Анисимов, 1991). Позитивной стороной этой новаторской работы является комплексное использование данных как геологической среды, так и медицинской статистики с целью медико-геоэкологического картирования. Она позволила увязать пространственное распространение заболеваний и уровень техногенной (в том числе и геохимической) нагрузки на геологическую среду, объяснить причины заболевания природными особенностями среды (геофизические поля, тектонические структуры, аномалии радона в водах).

Одновременно в ГПП «Геопрогноз», Институте географии, Институте геологических наук, отделе радиогеохимии окружающей среды ИГФМР НАНУ были начаты работы по изучению распределения радиоактивного загрязнения в разных ландшафтно-геохимических условиях в пределах западного и южного «следов» аварии на ЧАЭС и возможного влияния этого загрязнения на здоровье населения. Значительное внимание было уделено изучению условий миграции радионуклидов и тяжелых металлов в геохимических ландшафтах, в частности — в системе «почвы—растения—сельхозпродукты». Был составлен комплекс карт в масштабе 1:200000

разного типа: ландшафтно-геохимических, загрязнения почв и донных отложений, районирования, связи уровня загрязненности с показателями здоровья населения и др. Один из интересных выводов заключается в том, что при одинаковой плотности радиационной нагрузки фиксируются разные уровни заболеваемости населения в условиях разных ландшафтов.

Говоря о лечебных свойствах камней, нужно в то же время отметить и возможность вредного воздействия некоторых из них. Сульфидные минералы и руды (пирит, халькопирит, галенит и др.) в распыленном состоянии могут вызвать растрескивание кожи и даже кровотечение. Сульфид ртути, известный как минерал киноварь, является прочным и безвредным соединением. Но в этих рудах иногда может быть ртуть в свободном состоянии. Добавки сульфида сурьмы хорошо усваиваются животными, оказывая благоприятное воздействие, но являются ядовитыми для людей. Если верить одной из легенд, попытка использовать его для стимулирования монахов одного из средневековых монастырей обернулась трагедией; именно поэтому минерал получил название антимонит (латинск. – «противомонашеский»). В районах разрабатывавшегося месторождения Рейхенштейн (Силезия) подземные воды содержали его в высокой концентрации, что было причиной болезни и даже жертв. И только строительство в 1928 г. канализации и водопровода исправило положение. Это еще один из примеров, когда медицина и экологическая геология с успехом объединяют свои знания.

Наряду с такими конкретными медико-геоэкологическими исследованиями необходимо назвать несколько общих направлений работ, которые могут и должны выполняться совместными усилиями медицины и экологической геологии. Вероятно, наиболее важным и крупным разделом медицинской экологии и гидрогеологии является изучение лечебных минеральных вод и грязей. Медицину в данной области интересуют формы лечения (прием внутрь, ванны, грязелечение), обоснование лечебных свойств соответствующих элементов геологической среды. Вместе с тем, схема деления таких вод и грязей по химическому составу, данные о запасах и способах их эксплуатации, охрана таких вод и ряд других вопросов входят в компетенцию экологической гидрогеологии. История развития данного лечебного направления достаточно сложна и насчитывает более двух тысячелетий. Оно является особенно важным для Украины, в которой находится большое количество курортно-бальнеологических центров и почти все мировые эталоны лечебных минеральных вод и грязей.

К числу нетрадиционных направлений и разделов медицинской экологии относится литотерапия, или лечение веществом земной коры. История развития данного направления является не менее длительной, чем история использования минеральных вод. Литотерапия включает такие процедуры, как песочные ванны, глинолечение, лечение солями (галотерапия), смолами и битумами, а также металлотерапию. Наибольшее количество направлений существует в лечении камнем, или собственно литотерапии. Среди них можно назвать прием некоторых минеральных добавок, поедание некоторых видов горных пород, получивших название кудюритов, пока еще мало изученное воздействие камня посредством различных физико-химических и биологических полей (радиационное, биополе и др.), а также ритуальное и астральное воздействие.

При всем скептицизме официальной медицины к этому так называемому народному способу лечения, отдельные его виды и методы прочно утвердились, особых возражений у медиков не вызывают. Среди них — использование карбонатных добавок (кальцита, доломита) для животных и человека при недостатке этих компонентов в организме, настаивание питьевой воды на кремне или других кремневых разновидностях минералов. Давнюю историю имеет признание лечебных свойств янтаря, мумиё, безоарового камня, некоторых самоцветов. Многие отработанные соляные шахты или их участки приспособлены для лечения больных астмой, что также может рассматриваться как направление литотерапии. В Украине такое лечение производится в шахтах Солотвино (Закарпатье) и Артемовска. Нужно подчеркнуть, что именно геология, знающая происхождение различных минералов и горных пород, может в ряде случаев объяснить лечебное или благоприятное воздействия на человека некоторых камней (например, глауконита, отдельных форм кремневых соединений и др.).

В круг вопросов медицинской и геологической экологии должны быть отнесены изучение и разработка положений геомансии, занимающейся выявлением и объяснением причин существования геопатогенных и геокомфортных зон Земли. Строгого научного определения этих понятий и терминов пока нет, а методы их выявления основаны на результатах статистических наблюдений и сложных биофизических изучениях, доступных лишь специалистам или специально подготовленным людям. При всем скептицизме науки по отношению к положениям геомансии отрицать вредное воздействие определенных районов или участков на проживающих там людей, а также некоторых представителей животного и растительного мира невозможно. Оно имеет медицинские, биологические, исторические и физические подтверждения.

Природа такого явления неясна, но обычно оно связывается с особенностями строения или состояния недр. Это могут быть какие-то физические поля отдельных зон или пород (участков разрабатываемых месторождений, тектонических структур, геологических тел), определенных природных скоплений, вскрытых разрабатываемым месторождением. Иногда такое негативное воздействие объясняется существованием разрывных тектонических нарушений, по которым могут проявляться своеобразное «Дыхание Земли», признаваемое и геологической наукой, неблагоприятные сочетания химических элементов в подземных и поверхностных водах. Иногда к геопатогенным зонам относят участки с неблагоприятными инженерно-геологическими условиями, что вызывает определенные сложности при строительстве. Данное природное явление должно изучаться совместными усилиями медицины, физико-химических наук и геологии, в задачу которой входит объяснение его природы путем расшифровки структуры недр, специализированного эколого-геологического картирования.

Эколого-геологическое образование, культура, поведение

Экологическое образование, культура и поведение стали непременным элементом жизни человека, системы его обучения, действий, разработки соответствующих мероприятий. Вместе с тем, необходимо обратить внимание на геологический аспект такой деятельности, трансформировать эколого-геологические знания применительно к условиям развития

биосферы, человека, потребностям современного общества. Такой акцент нужен в первую очередь потому, что системных геологических знаний наша школа не дает. Это требует расширения круга вопросов, разрабатываемых социальной экологией, экологией человека. В ней должны быть более полно представлены данные о геологической деятельности человека, ее характере, масштабах и последствиях воздействия на состояние недр как составной элемент окружающей среды или на геологическую среду. В связи с этим для геологических и горных специальностей вузов курсы экологической геологии должны не только быть представлены в достаточно большом объеме, но и включать всю необходимую информацию, а для географических и общеэкологических специальностей необходимо расширить вопросы изучения экологии недр, данные о которой следует ввести в те или иные учебные предметы.

В процессе общего и специального образования, а также культурного воспитания должны быть четко сформулированы основные вопросы в проблеме использования и охраны недр. Среди них необходимы четкие представления о том, что минеральное сырье является невозобновляемой частью природных ресурсов. Поэтому одними из основных положений нашей деятельности, охраны недр и геологической среды, должны быть полнота извлечения полезного ископаемого и комплексное использование его компонентов, что обычно входит в понятие «Рациональное природопользование и использование минерального сырья». Экологическая геология должна взять на себя систематизацию данных о существующих альтернативных видах энергетического сырья, руд, строительных материалов, разработку учения о вторичных месторождениях, разработку схем комплексного использования извлекаемого сырья.

Вторым не менее важным вопросом экологической геологии и охраны недр является предотвращение их загрязнения. В первую очередь это касается подземных вод, являющихся наиболее уязвимым компонентом геологической среды. Данное положение особенно актуально в районах проживания и активного строительства, местах разработки полезных ископаемых, существования некоторых промышленных производств. Культурно-образовательный аспект такой деятельности заключается в разъяснении сути вреда от нарушения режима подземных вод, привнесение в них каких-то вредных компонентов, загрязнения почв и атмосферы, нарушения устойчивости недр в результате разработки полезных ископаемых, засоления почв и грунтов в процессе сельскохозяйственной деятельности, работы некоторых производств.

Эколого-геологическое образование может и должно обогатить человека знаниями не только о природных катастрофических процессах, что частично делает физическая география, но и об особенностях их проявления в прошлой истории Земли. Такие палеоэкологические знания, в том числе данные о причинах вымираний в прошлом, нужны не для запугивания, а для выявления причин и закономерностей проявления их во времени, что позволит делать соответствующие прогнозы. Должны быть получены знания о причинах оледенений прошлого, резких сокращений и расширений морских площадей, о том, что обуславливает отступление или наступание моря. Воспитательный аспект таких знаний заключается в том,

что широко распространенным даже в наш просвещенный век ожиданиям апокалипсисов, загадочного конца света и мировых катастроф должны прийти на смену конкретные знания об аналогичных природных явлениях, происходивших в прошлом, закономерностях их проявления, возможных последствиях для современного общества, научных прогнозах их на будущее.

Экологическое образование и культура поведения современного человека, уровень развития человеческого общества предусматривают создание охраняемых природных территорий и акваторий – различного рода заповедников, заказников, национальных памятников природы, Памятников Всемирного природного наследия и других объектов. В этой группе особое место занимают геологические памятники природы – элементы литосферы или продукты ее переработки, которые имеют важное познавательное, историческое, эстетическое, рекреационное или иное воспитательное значение. В отличие от объектов биосферы и гидросферы, такие памятники формируются на протяжении значительно большего интервала времени. Поэтому зачастую они оставляют впечатление незыблемых, вечно существующих творений природы. В действительности это не так. Если какой-то исчезающий биологический вид или комплекс поддается переселению, искусственно можно создать ландшафт, подобный природному или даже превосходящий его по красоте, то разрушение геологического памятника, как правило, не поддается восстановлению, является невозможной утратой.

В связи с разработкой моральных и культурных правил поведения современного человека необходимо обратить внимание на появление нового направления исследований, которое получило название геоэтики. Развиваясь на стыке наук о Земле и о нормах общественно-социального поведения, оно изучает моральные аспекты поведения и действия человека при взаимоотношении с природой, ставит вопрос о нравственных его обязанностях по отношению к использованию геологической среды и ее минеральных ресурсов, в частности – разрабатывает нормы поведения. Среди основных задач геоэтики – установление той границы, после которой способность природы к самовосстановлению становится невозможной. В определенном отношении она становится более широким понятием, чем ранее выделенная биоэтика, или биосферная этика, изучающая взаимоотношения человека с животным и растительным миром. Термин этот ввел чешский ученый Вацлав Немец в 1992 г.; он быстро получил признание, и уже в 1994 г. состоялась первая международная конференция по этой проблеме.

Учение о ноосфере, или сфере разума, начавшее развиваться лишь во второй половине XX ст., предполагает ее формирование с того времени, когда деятельность человека становится главным, определяющим фактором развития природы. В.И. Вернадский (1944), наиболее полно обосновавший это учение, утверждал, что «Ноосфера есть новое геологическое явление на нашей планете. В ней впервые человек становится крупной геологической силой». Этот пример интересен в том отношении, что одно из ключевых положений экологии здесь, вероятно, впервые рассматривается с позиций геологии. Ноосфера трактуется этим исследователем как сфера

или продукт разума, чего нельзя сказать о большинстве тех действий, которые составляют суть техногенеза, нынешней геологической деятельности человека. Это учение можно рассматривать как одно из направлений зарождения экологической геологии и как программу для дальнейшей разработки положений его поведения (геоэтики), разумного управления природными процессами, состоянием окружающей среды и недр как ее составного элемента.

18. ПРОБЛЕМЫ И НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ГЕОЛОГИИ

Геология как активно развивающаяся система наук сталкивается с необходимостью решения большого количества разнообразных вопросов и проблем, в том числе выходящих за рамки чисто геологических интересов — состава, строения и развития земной коры. В числе таких нужно назвать представления о внутреннем строении Земли, развитии органического мира прошлого, воздействии космоса на формирование планеты и многие другие. Большое число новых проблем возникло в связи с признанием существования литосферных плит и расшифровкой закономерностей их развития, а также началом активного изучения структур земной поверхности из космоса, датируемым последней третью XX ст. Это обусловило большой интерес современной геологии к вопросам геодинамики. Попробуем уточнить суть лишь некоторых из них.

Изучение внутреннего строения Земли, которое осуществляется преимущественно методами геофизики, не дает ответа на основной вопрос геотектоники: что является основной движущей силой, формирующей земную кору, — эндогенные процессы или воздействие космоса? Расшифровка закономерностей развития во времени структур земной коры и составных частей планеты, включая атмосферу, гидросферу и литосферу, а также формирование ее органического мира требует четких и однозначно понимаемых представлений о периодизации геологической истории. Поэтому кратко затронем главные из них, сделав акцент на новых положениях, а также коснемся намечаемого решения старых проблем геологической науки с позиции новых имеющихся данных, обратив при этом внимание на доказанную или возможную роль космоса в возникновении таких проблем и их решении.

Этапы развития растительного и животного мира

Считается, что жизнь на Земле существует уже не менее 3,5 млрд лет. Возраст наиболее древних палеонтологических находок в Африке, Северной Америке, Австралии и Украине определяется в 3,7–3 млрд лет. Это были одноклеточные организмы (прокариоты), которые составляли две самостоятельные группы — бактерии и сине-зеленые водоросли (цианофиты). Их первые представители жили в практически бескислородной среде (его содержание составляло около 0,02 %), в мелководных бассейнах, которые иногда подогревались вулканическим теплом. Современная наука стоит на позициях зарождения жизни на нашей планете; времени и условий для этого было достаточно. Значительно меньше исследователей допускает, что жизнь была принесена извне.

В начале позднего протерозоя (1,65 млрд лет назад) появились эукариоты — организмы с обособленным ядром. Возрастной уровень в 1,2 млрд лет — это время появления многоклеточных организмов, которые уже были давними «предками» наших растений и животных. Особого разнообразия органический мир докембрия достиг во второй половине венда, или приблизительно 630 млн лет назад. Растения и животные этого времени были представлены достаточно разнообразными водорослями, а также

сообществами кишечнополостных (медузы, полипы), червеобразными и другими группами. Все организмы позднего докембрия не имели твердого минерального скелета, поэтому их находки очень редки. Эта фауна получила название эдиакарской (по названию соответствующего рудника в Австралии, где она была первоначально выявлена и описана) или вендской в Европе. В целом данный наиболее продолжительный интервал времени докембрийской геологической истории принято называть криптозоом — временем скрытой жизни.

Начало кембрийского периода, который отвечает возрастному уровню 570 млн лет, характеризуется появлением минерального скелета у нескольких групп организмов, что позволяет более полно изучать историю их развития и точнее датировать включающие их породы и события. Интервал времени с начала кембрия называется фанерозом, или временем явной жизни. Он разделяется на палеозойскую, мезозойскую и кайнозойскую эры. Для этого времени уже могут устанавливаться определенные закономерности в развитии органического мира, одной из которых следует считать тот факт, что этапы жизни животного и растительного мира не совпадают. Еще одной особенностью развития биоты в целом следует признать отчетливую зависимость от определенных историко-геологических событий.

Попробуем показать это. Прежде всего, существование трех эр, главных этапов формирования органического мира, следует считать весьма условным, не в полной мере соответствующим развитию его основных групп. Так, амфибии и рептилии появились еще в палеозое, а первые птицы и млекопитающие — в середине мезозоя. Задолго до конца палеозоя вымирают такие своеобразные группы организмов, как граптолиты и трилобиты. Только табуляты (четырёхлучевые кораллы), гониатиты и плауны более или менее четко тяготеют к среднему и позднему палеозою, а белемниты и аммониты — ко второй половине мезозоя.

Еще более выразительным является несоответствие трех эр фанероза этапам развития растительного мира. Некоторые исследователи разделяют время его формирования на таллофит, псилофит (силур—средний девон), палеофит, мезофит и кайнофит (с конца раннего мела). Другие предлагают разделять палеозойскую эру на две самостоятельные, и первую из них называть талласозом, или метазом: жизнь этого времени была сосредоточена преимущественно в морях (Мировом океане). Только с девонского периода она в значительных масштабах выходит на земную поверхность.

Вместе с тем, очень четкой является зависимость изменений в развитии органического мира от определенных историко-геологических событий. Так, сходение Северной Америки с Евразией, следствием чего стала ликвидация древнего океана Япетус, заставило морские организмы, которые оказались в системе лагун, приспосабливаться к континентальным условиям жизни. Именно это было главной причиной выхода растений, а затем амфибий и рептилий на поверхность. И наоборот, начатый в начале мезозоя, а затем резко усилившийся в его середине раскол Пангеи и образование молодых океанов обусловили появление цератитов, аммонитов, белемнитов, летающих ящеров и птиц, новых групп рыб.

Очень интересной может считаться причина появления и расцвета покрытосеменных, или цветковых растений, которая не имеет пока однозначной трактовки. Это явление относится к концу раннего мела (иногда уточняют —

к альбскому веку), и оно точно датировано. Именно в это время, 100 млн лет назад, Земля подверглась активной космической бомбардировке крупными метеоритами, следствием чего стало проявление интенсивного орогенного вулканизма, который сопровождался огромными выбросами в атмосферу вулканического пепла. Вероятно, такие условия оказались неблагоприятными для папоротников и голосеменных растений, которые тогда преобладали. А покрытосеменные и хвойные относительно легко приспособились к ним. Расцвет цветковых растений обусловил появление многочисленных насекомых, а следом за ними — и птиц.

Подобная зависимость развития органического мира от природных событий существовала и в докембрии. Появление эукариот, которое относится к рубежу раннего и позднего протерозоя, относится ко времени крупнейшей структурно-геологической перестройки, которую Г. Штилле образно назвал «великим обновлением». Появление многоклеточных организмов 1,2 млрд лет назад приходится на начало очень выразительного горообразования, которое названо готским в Европе и эльсонским в Северной Америке.

Более сложным и очень интересным следует считать появление эдиакарской (вендской) фауны, датированное значением 630 млн лет. Это было время, когда закончилась наиболее продолжительная за всю историю Земли ледниковая эра, длившаяся в интервале времени 950—640 млн лет назад. Ее завершение сопровождалось обширным базальтовым вулканизмом, что может свидетельствовать о расколе существовавшего тогда суперматерика, называемого иногда Пангея-2. Кстати, именно тогда начал формироваться океан Япетус. Эдиакарская фауна, хотя и была достаточно высоко развита, в отличие от фанерозойской не имела еще минерального скелета. С появлением кембрийских археоциат и моллюсков она исчезла.

Очень интересную и убедительную гипотезу относительно появления и исчезновения эдиакарской фауны сформулировал в свое время Г.П. Леонов (1985). Он считал, что эта группа организмов зародилась не в морских, а в изолированных континентальных бассейнах, куда поступала пресная вода, образовавшаяся при таянии ледников. Эти организмы не были приспособлены для проживания в соленой морской воде. Поэтому начавшиеся в середине венда расколы материковых площадей и сопровождавшие их наступания моря обусловили их гибель. Однако приспособившиеся к таким условиям организмы, которые уже приобрели минеральный скелет (по его мнению, это было обусловлено проживанием высокоразвитых организмов в соленой воде!), продолжили свое развитие в условиях морских бассейнов. Поэтому если мы говорим о том, что современная жизнь зародилась в океанах, то должны делать определенную поправку. В океанах и наиболее активно в прибрежных морях она впоследствии развивалась. А зародиться могла во внутриматериковых пресноводных бассейнах.

Таким образом, схема развития органического мира и этапов его жизни является более сложной, чем это предполагают существующие схемы, не в полной мере изученной проблемой. Существующее выделение палеозойской, мезозойской и кайнозойской эры — это определенная условность, которая не столько отражает процесс эволюции, сколько является принятой мерой времени. Данные этапы имеют разную, резко отличающуюся продолжительность. Вместе с тем, все основные преобразования в органическом

мире — это результат развития земной коры, проявления определенных историко-геологических событий.

Эволюция, катастрофы и революционные изменения

Одной из кардинальных проблем палеонтологии, исторической геологии и даже естествознания в целом, волновавшей ученых разных стран уже почти на протяжении трех столетий, было отношение к эволюции и катастрофам в развитии органического мира. В течение второй половины XIX и первой половины XX ст. эти представления были объектом острых дискуссий, в процессе которых возрастало или убывало количество сторонников того или иного направления. Поскольку целенаправленным изучением истории и закономерностей развития органического мира занималась историческая геология, именно она пыталась решить данную палеоэкологическую проблему.

Рассмотрение этих вопросов нужно начать с уточнения понятий об эволюции и катастрофах. Единого понимания терминов «эволюция» и «эволюционизм» не существует. Наиболее правильным будет трактовать эти термины как постепенное, целенаправленное развитие органического мира путем непрерывных количественных и качественных изменений, которые не сопровождаются какими-либо скачками или резкими преобразованиями. Более или менее одинаково понимается катастрофизм, предполагающий существование резких скачков или даже коренных изменений в процессе развития биоты. Катастрофизм считается неперенным условием и основной движущей силой эволюции. Нужно подчеркнуть, что эти учения традиционно противопоставлялись друг другу. Такая их взаимная непримиримость определялась теми обстоятельствами, при которых они формировались.

Библейские представления эволюцию не предусматривали. «Видов столько, сколько их создал Бог», — уверенно утверждали еще в XVII ст. находки ископаемых палеонтологических остатков, аналогов которых не было в современном органическом мире (белемниты, аммониты, трилобиты и др.), рассматривались либо как минеральные образования, своеобразная «игра природы», либо как продукт Божьего наказания. Вместе с тем, Библия предусматривала катастрофы; достаточно вспомнить Всемирный потоп или ожидание Апокалипсиса. Что-то подобное было и в других религиях. Это было вполне естественно: древний человек неоднократно наблюдал природные катастрофы, а над существованием эволюции не задумывался.

Уже в середине XVI ст. в науке появляются первые осторожные идеи о возможности изменений в природе (Ф. Русус, 1566), сомнения в истинности Всемирного потопы. Вместе с тем, официальная наука того времени пытается придерживаться религиозных канонов, лишь уточняя их. Так, Г.В. Лейбниц (1646—1716) формулирует «принцип непрерывности», который предусматривает унаследованность в эволюционном изменении. Он же утверждает, что «природа не делает скачков». Эти положения впоследствии повторяют К. Линней (1751), П.С. Паласс (1766) и др. Только в 1762 г. швейцарский исследователь Ш. Бонне вводит в употребление термин «эволюция». Вместе с тем, делаются попытки уточнять какие-то каноны. Так,

Ж. Бюффон (1749, 1778) составляет одну из первых схем развития природы, которая предполагает отказ от всемирных катастроф и базируется на постепенном и длительном действии природных факторов. Он объясняет рождение Земли в результате отрыва какой-то массы от Солнца. Однако жизнь, по мнению Ж. Бюффона, существовала на ней вечно. Она появилась, по его представлениям, 38949 лет назад и должна была исчезнуть через 93291 год. Естественно, что такие его взгляды были замечены церковью и осуждены Сорбонной, в результате чего в 1751 г. он был вынужден от них «отказаться».

Научное обоснование положений катастрофизма принадлежит Ж. Кювье (1812), который в своей работе «Рассуждения о переворотах на земной поверхности» показал возможность неоднократной гибели организмов и последующего заселения из каких-то областей, которые не были охвачены такой катастрофой. Эти представления обосновывались резкими изменениями палеонтологических остатков в стратиграфических разрезах Франции и других регионов. Его идеи подхватили многие исследователи — Ж.А. Агассиц, Л. Бух, Эли де Бомон, Д'Орбиньи и др. Среди причин возможных катастроф назывались кратковременные обширные оледенения, вулканические процессы, эпизодические тектонические движения, сопровождавшиеся резкими сокращениями морских площадей, складкообразованием и др. В отличие от Ж. Кювье, некоторые исследователи говорили о неоднократных мировых катастрофах, вследствие которых погибало все живое, а затем жизнь возрождалась или даже нарождалась вновь. Так, Эли де Бомон (1829) насчитывал в истории Земли 32 подобные катастрофы.

Вместе с тем, идеи катастрофизма не утвердились сколько-нибудь прочно. 1830-е гг. считаются временем образования геологии как самостоятельной науки, что обычно связывается с именем Ч. Лайеля. Развитие Земли, по его представлениям, происходило путем местных изменений, среди причин которых назывались землетрясения и проявления вулканизма; общих мировых катастроф не было. Основной удар, который нанесла геология по библейским представлениям, заключался в том, что была обоснована длительность многих природных процессов в развитии Земли. Именно на таких позициях развивались последующие представления Ч. Дарвина — основателя теории биологической эволюции. Триумфом его исследований стала работа «Происхождение видов» (1859), которая закрепила эволюционное учение не только в палеонтологии, но и в естествознании. И, несмотря на развитие положений об ускорении каких-то природных процессов (явление анастроф И. Вальтера), попытки обоснования орогенических фаз Г. Штилле (1924), которые трактовались как революции, своеобразные катастрофы в неживой природе, идеи катастрофизма еще в первой половине XX ст. в нашей стране поддавались резкой критике.

Положение изменилось со второй половины XX ст. Детальные геологические и палеонтологические исследования позволили на определенных возрастных уровнях фиксировать кратковременную гибель или исчезновение определенных групп живых организмов, что могло рассматриваться как результат какой-то природной катастрофы. На основании этого были обоснованы представления о великих и малых вымираниях, примером первых из которых были события на рубеже палеозоя и мезозоя, а также мезозоя и кайнозоя. С другой стороны, изучение бомбардировки Земли крупными

метеоритами и возможность датировать такие события, в том числе привязывать их ко времени вымираний, позволили обосновать механизм такой возможной катастрофы. Больше того, было показано, что возможно существование своеобразного ритма такой бомбардировки, повторяющейся через 26 млн лет (Д. Рауп, Дж. Сепкоски и др.). Это коренным образом изменило длительное научное противостояние.

Л.В. Альварес (1980), базируясь на данных обогащения иридия и осмия на границе меловых и палеогеновых пород (мезозоя и кайнозоя), сформулировал гипотезу о космической причине имевшего тогда место великого вымирания. В дальнейшем более детальное изучение этого процесса позволило обосновать универсальную причину такого фактора, возможность выявлять различного рода большие и малые вымирания; был также разработан механизм подобного воздействия.

Детальные историко-геологические и палеонтологические исследования позволили также установить, что гибель одних групп органического мира совпадает, как правило, с появлением или расцветом других. Так, гибель динозавров на рубеже мезозоя и кайнозоя совпала с резкой активизацией развития млекопитающих. С космической бомбардировкой в конце раннего мела (100 млн лет назад) совпадает появление покрытосеменных растений, что содействовало активному развитию насекомых и птиц. Предпоследняя активная космическая бомбардировка, имевшая место 40 млн лет назад, могла содействовать появлению полуобезьян (лемуров), а последняя — человекообразных обезьян и затем человека.

Исходя из существующих сейчас представлений, эволюция должна трактоваться как своеобразная реакция живой природы на катастрофы. Так как в результате гибели определенных групп органического мира появляются и даже расцветают новые, можно утверждать, что катастрофы ускоряют ход эволюционного развития. Это позволило не только успешно завершить долгий научный спор, но и показать справедливость обеих точек зрения. С той только поправкой, что они должны не исключать противоположное мнение, а увязываться друг с другом. Кстати, близкую точку зрения еще в первой половине XX ст. развивал харьковский исследователь, профессор Д.Н. Соболев, который считал природные катастрофы неизменной составной частью эволюционного процесса.

Ритмы в развитии земной коры

История формирования земной коры характеризуется большим разнообразием проявления физико-географических обстановок, тектонических движений, магматизма. К числу наиболее ярких закономерностей большинства этих процессов следует отнести такое явление, как ритмичность. Учитывая большую длительность геологической истории, мы можем говорить о ритмах самого различного порядка с точки зрения развития этого явления во времени. Это существенно отличает историко-геологическую ритмичность от биологической (биоритмов), исторической (ритмы в развитии общества) и даже космической, базирующейся на математических расчетах.

Термины «ритм» и «ритмичность» очень часто используются в самом различном значении, поэтому необходимо уточнить понимание их сущности. Мы можем говорить о каких-то интервалах времени (периодах, эпохах,

эрах, этапах), в течение которых сохраняются однотипные режимы, условия, структурный план каких-то структур, морских или материковых площадей, или в глобальном масштабе, называя это явление периодичностью или этапностью историко-геологического развития. Более сложным понятием является цикл, закономерное повторение аналогичных обстановок. Рассматривая тектонические движения, мы говорили о геотектоническом цикле, или чередовании геосинклинальных режимов и горообразования в геологической истории определенных регионов и структур. В отличие от периодов и циклов, ритмами следует называть повторение определенных событий или явлений через строго определенный интервал времени.

Вероятно, классическим примером ритмичности может быть повторение через 75–80 млн лет структурно-геологических перестроек в фанерозойской истории земной коры. Это явление следует понимать как сравнительно кратковременное. Возможно даже геологически мгновенное изменение структурного плана развития и тектонического режима в большинстве подвижных областей. Они рассматривались нами ранее. Здесь только добавим, что подобные смены режимов датированы с предельной для геологии точностью, и отрицать их невозможно. Они прослеживаются в течение всего фанерозоя и в пределах практически всех подвижных областей. Геологическая природа подобных перестроек должна трактоваться как периодическая повторяющаяся энергетическое воздействие на Землю, которое обуславливает изменение направления и скорости перемещения ее литосферных плит.

Еще одним примером аналогичной ритмичности может быть существование тектонических фаз, или эпизодичное проявление во многих или в даже подавляющем большинстве подвижных областей интенсивных складкообразовательных процессов, сопровождаемое активизацией магматизма, сменой тектонических режимов и условий осадконакопления (главным образом темпов прогибания и седиментации). Мы также говорили о них, рассматривая роль тектонических движений в формировании земной коры. По времени, как уже отмечалось ранее, они все или их большинство совпадают с бомбардировкой Земли крупными метеоритами. Такое совпадение хорошо иллюстрирует приводившееся в табл. 1 сопоставление тектонических фаз и времени формирования метеоритных кратеров. Подчеркивалась ритмичность этого явления, обычное повторение его через 26 млн лет. И обращалось внимание на взаимосвязанность с ранее рассмотренным ритмом: каждая третья из таких тектонических фаз совпадает с уже упомянутыми структурно-геологическими перестройками.

Выявленная строгая соподчиненность ритма двух данных форм тектогенеза, возрастающего в три раза, позволила сделать новое допущение — проверить обоснованность ритма в 234 млн лет, выявленного на основании утроенной его величины. И действительно, каждая третья из числа изученных в фанерозое перестроек обнаруживает отчетливое сходство. В частности, существовавшие материки или большие их массивы, формировавшиеся в результате неоднократного проявления тектонических фаз и структурно-геологических перестроек, сбивались воедино, и начинавшиеся затем их расколы, которые фиксируются на возрастном уровне 15, 245, 480 и 710 млн лет назад, сопровождались обширными поднятиями, сокращением морских площадей, интенсивным излиянием базальтовых лав.

Следует попытаться выявить природу ритма в 234 млн лет. Эта величина близка к принимаемому значению Галактического года — интервалу времени, в течение которого Солнечная система совершает свой полный оборот в пределах Галактики. Расчеты этой величины, сделанные в середине XX ст., составляли 190–200 млн лет (П.П. Паренаго, 1954; В.Г. Фесенков, 1953). В последнее время чаще называется цифра в 250 млн лет (Энциклопедия школьника, 1995, 1997). Соответственно, предлагаемая величина в 235 млн лет становится вполне приемлемой. Тем более что она выведена не на основании абстрактных расчетов, а в результате расшифровки истории развития земной коры в фанерозое. Мы можем допускать, что перемещающаяся во Вселенной Солнечная система на каких-то участках своего маршрута пересекает зоны или пояса с эпизодичным энергетическим воздействием—импульсом (квантом), что находит отражение в соответствующих структурно-геологических перестройках. Тот факт, что подобное устойчивое явление прослеживается на протяжении всей фанерозойской истории, позволяет предполагать именно вземную космическую природу данного ритма.

Интересная гипотеза для обоснования причины ритма в 26 млн лет сформулирована сравнительно недавно. Она базируется на предположении о существовании в Солнечной системе еще одной звезды, которая получила наименование Немезида. Данная звезда не видна, но ее периодическое сближение с Солнцем может обусловить эпизодичное энергетическое воздействие, которое будет проявлено активным поступлением на Землю крупных метеоритов и нарушит тектонический режим в подвижных областях планеты. А каждое третье сближение может стать причиной структурно-геологических перестроек, при которых резко нарушается режим перемещения литосферных плит. Такие вопросы должны решать астрономы, специалисты в области небесной кинематики и механики. А историческая геология лишь представляет исходный материал для подобных расчетов и построений.

Если принять обоснование ритмов в 26, 78 (75–80) и 234 млн лет, то следует попытаться выявить существование еще одного расчетного повторения, которое должно происходить через 700 млн лет. Самое интересное, что такая утроенная величина предполагаемой продолжительности Галактического года достаточно четко проявлена в каменной летописи Земли. Вероятно, наиболее обоснованным репером в докембрийской геологической истории может считаться возрастной уровень в 1,65 млрд лет, который получил в свое время наименование «великого обновления» и принимается как граница раннего и позднего протерозоя. В это время сбившиеся воедино материки, называемые Пангея-1, начали раскалываться, что проявилось не только интенсивным излиянием базальтовых лав, но и резким изменением структурного плана вновь формирующихся структур.

Аналогичное явление имело место в конце палеозоя или 245 млн лет назад, когда начала раскалываться уже фанерозойская Пангея. А возрастной уровень в 3 млрд лет — это принимаемая граница раннего и позднего архея. Возрастной уровень в 950 млн лет является временем завершения гренвилльской орогении, являющейся важнейшей на Канадском щите. Аналогичным образом проявились события с возрастом 2,35 млрд лет (селецкая складчатость на Балтийском щите, кеноранская и пенокийская орогения

в Северной Америке и др.). Следует напомнить, что Земля в это время испытала грандиозную бомбардировку железными метеоритами, смысл и роль которой пока не полностью расшифрованы. Наконец, возрастной уровень в 3,7 млрд лет может рассматриваться как начало катархейского этапа, или древнего архея, определяемого обычно значениями в 3,9–3,5 млрд лет.

Намечаемая ритмичность в 700 млн лет может быть положена в основу схемы историко-геологической периодичности, предложенной для всей истории земной коры или даже Земли. Рассматривая главные стадии развития континентальной земной коры, мы говорили об отсутствии единых представлений в отношении этого вопроса и о целесообразности выделения двух основных этапов этой истории – архейско-раннепротерозойского и позднепротерозойско-фанерозойского. Возможность более детального разделения этих этапов, существование историко-геологических эонов продолжительностью в 700 млн лет позволяет предложить еще одну принципиально новую схему, которая будет рассмотрена в последующем разделе. Естественно, она заслуживает изучения и даже апробации на примере историко-геологического анализа отдельных материков или других больших площадей.

Большая группа ритмов может быть выявлена на основании анализа разнообразных физико-географических процессов прошлого. Вероятно, наиболее выразительными являются повторения с интервалом в 100 тыс. лет, форма проявления которых может быть разной. Это находит отражение в формировании четвертичных речных террас, когда приблизительно через 100 тыс. лет происходит скачкообразное изменение уровня Мирового океана и начинается глубинный эрозионный врез рек. Ритмичность такого же порядка фиксируется в повторении оледенений четвертичного периода, сменяемых потеплениями. Наконец, примером того же ритма в более древней истории может быть формирование угленосной толщи Донбасса, когда в течение 25–30 млн лет происходило накопление примерно 300 пластов угля и известняков, что объясняется эпизодичным поступлением в морской бассейн обломочного материала, так называемых мутьевых потоков.

Более сложный ритм проявлен наступаниями и отступаниями морей, которые происходили через 400 тыс. лет. Причем количество и характер таких колебательных тектонических движений хорошо сопоставляются для разных районов Земли. Тщательное изучение их позволило В.А. Зубакову (1984) предложить 400-тысячный ритм как основу глобальной схемы климатохронологического расчленения позднего кайнозоя. Ритмы, близкие к названным 100- и 400-тысячным, характерны и для палеозойского осадконакопления других регионов (в частности – Московской впадины, Южного Урала и Южного Тянь-Шаня, Западной Европы).

Еще один тип подобной палеогеографической ритмичности обуславливает формирование флиша. Напомним, что таким термином в геологии называется закономерное чередование песчаных, глинистых, а иногда и карбонатных пород, которое мы можем наблюдать в разных бассейнах, регионах и в разные интервалы геологической истории. Так, меловые-палеогеновые флишевые толщи слагают Альпы, Карпаты, Кавказ, триасовые распространены в Горном Крыму, верхнепалеозойские – на Урале. Условия формирования флиша объясняются кратковременными региональными «вздрагиваниями», обусловленными сейсмо-вулканической активностью,

в результате чего в прилежащие бассейны сносится и там оседает сперва песчаный, а затем глинистый материал. Важным следует считать четкую ритмичность таких повторений, происходящих в среднем через 6,5 тыс. лет (Хаин, 1973; Афанасьев, 1987 и др.).

Интересно, что подобные повторения происходили уже в период существования человека, а достоверность и характер их проявления могут быть проверены не только геологическими, но, историческими и археологическими данными. В частности, 10 тыс. лет назад произошло таяние обширных ледников в Евразии, а 3,5 тыс. лет назад результатом сейсмо-вулканической активизации стала гибель двух из трех древнейших цивилизаций — критской и хараппской. 23, 50 и 74 тыс. лет назад имела место отчетливо проявленная активизация вулканизма, известная в разных регионах. Это позволяет утверждать, что ритмичность с повторением в 6,5 тыс. лет проявляется не только в палеозое–мезозое, но и в новейшей и современной геологической истории.

Причина такой ритмичности пока не изучена, но она также может иметь космическую природу. Данный ритм близок к тому интервалу времени, который характеризует явление, называемое парадом планет (они выстраиваются в одну линию по отношению к Солнцу). Кроме того, он составляет четвертую часть прецессии, или полного оборота оси наклона Земли. Не менее интересным следует считать тот факт, что величина прецессии кратна ритму в 100 тыс. лет. При анализе последних стадий четвертичного оледенения также фиксируется чередование потеплений и похолоданий через примерно 25 тыс. лет (схема М.Ф. Веклича, 1987). Следовательно, мы можем в данных группах ритмичности также выявлять строгую соподчиненность, но уже четырехкратную. Они составляют 400–100–26–6,5 тыс. лет. Соотношение палеогеографических и историко-геологических ритмов пока не установлено, но определенная взаимосвязь может допускаться. Для этого нужно специально изучать условия осадконакопления в длительно формирующихся депрессиях. На примере Западной Сибири, Прикаспия, Днепровско–Донецкой и других впадин многими исследователями фиксируется периодичность осадконакопления в 8 или 6 млн лет, а также более дробная, что указывает на какие-то переходы между рассмотренными повторениями.

Имеющийся материал позволяет наметить общую универсальную схему ритмичности в формировании земной коры на протяжении всей ее истории. Она будет включать повторение определенных явлений и событий не менее десяти разных порядков — от 700 млн до 6,5 тыс. лет. Возможно и более дробное деление. Данное оформляющееся направление исторической геологии можно было бы называть георитмологией (изучением геологической ритмичности). Можно утверждать, что это достаточно обширное и важное теоретическое и практическое направление исследований. Интересно, что для седиментационной цикличности и ритмичности подобное название уже существует: в свое время Ю.Н. Карогодин предложил термин «литмология» — учение о повторах в осадконакоплении.

Что дает изучение историко-геологической ритмичности? Прежде всего, использование этих данных может быть положено в основу составления схем периодичности историко-геологического деления как для всей истории земной коры, так и для фанерозойского времени. Об этом речь будет

идти в следующем разделе. Структурно-геологические перестройки и тектонические фазы в случае более обоснованной датировки и принятия таких построений в практику геологических исследований могут быть использованы для межрегиональных сопоставлений и датировки подобно стратиграфической и геохронологической шкале, в ряде случаев не уступая им по обоснованности и детальности. Потребуется какое-то время для апробации, детализации и уточнения, а также для разработки определенных прогнозов. Учитывая, что проявление ритма зачастую фиксирует природные процессы, которые могут быть названы катастрофическими, мы можем предсказывать какие-то из них. Это касается повторений с интервалом в 6,5 тыс. лет и более кратковременных ритмичных повторений.

Тектогенез и периодизация геологической истории

Выявление и уточнение возрастного уровня планетарных проявлений тектонических движений, меняющих седиментационно-палеогеографические режимы, структурный план и типы развития подвижных областей, позволяет ставить вопрос о возможности разработки принципиально новой схемы историко-геологического развития земной коры, отличающейся от глобальной стратиграфической и базирующейся преимущественно на палеонтологическом принципе. Утверждение, что единая стратиграфическая шкала может рассматриваться как историко-геологическая (Геол. словарь, 1973; Тесленко, 1982 и др.) ошибочно; оно декларируется, но не подтверждается. Такая шкала является лишь мерой времени, позволяющей датировать события, эпохи, периоды, другие этапы развития, но вовсе не временем разного осадконакопления, магматизма, структурно-геологического развития. Об этом свидетельствуют уже названия самих подразделений – палеозой, мезозой и кайнозой (эра древней, средней и новой жизни), а также протерозой, фанерозой, криптозой и другие интервалы времени простейшей, явной или скрытой жизни.

Поэтому вопрос о разработке историко-геологической схемы развития давно ставился самыми разными исследователями, в числе которых были А.Н. Карпинский, М.А. Усов, М.К. Коровин и др. Уже само выделение каледонской, герцинской и альпийской складчатостей (орогений) было направлено на решение этой проблемы. Одну из первых попыток комплексного решения этой проблемы для фанерозоя предпринимал Д.Н. Соболев (1915, 1926 и др.), выделявший различного рода геологические периоды и циклы, базирующиеся на комплексном изучении тектонических движений, седиментационно-палеогеографическом и палеонтологическом развитии. Однако у него это сводилось лишь к попытке по-новому группировать существующие периоды и эпохи. То же можно сказать и о построениях Г. Штилле, привязывавшего тектонические фазы к литостратиграфическим подразделениям западноевропейской шкалы.

В числе наиболее выразительных историко-геологических подразделений фанерозоя могут рассматриваться интервалы времени, разделенные ранее рассматриваемыми структурно-геологическими перестройками. Уточненный их возраст позволяет выделять историко-геологические периоды, за которыми уже закрепились свои названия (средний и поздний палеозой, ранний мезозой и др.). Очень важной их особенностью следует считать одинаковую

продолжительность, а также возможность выделять в составе таких периодов более дробные подразделения (тектонические эпохи) или объединять их в более продолжительные историко-геологические эры. Все это позволяет предложить принципиально новую схему историко-геологического развития фанерозоя, приводимую ниже.

Основу предлагаемой схемы деления составляют разграниченные структурно-геологическими перестройками равновеликие интервалы времени. Для них по возможности сохранены существующие названия частей палеозоя и мезозоя, но в уточненном возрастном делении. Они могут быть также названы по соответствующим им орогенезам (наименования типа салаирский, ранне- и позднекаледонский, герцинский, киммерийский и др. уже закрепились в геологической терминологии). В составе каждого такого периода выделяется по три примерно равновеликие эпохи со своими названиями. В разделе «Геотектоника» они были рассмотрены как эпохи различной тектонической подвижности. Наконец, группы трех этих периодов, также составляющих своеобразный тектоно-палеогеографический этап, выделены в качестве историко-геологических эр, названных по частям фанерозоя – ранняя, средняя и поздняя.

Таблица 8. Схема историко-геологического деления фанерозойского развития земной коры

Единицы геохронологической шкалы	Историко-геологические периоды и их возрастные интервалы (млн лет)		Историко-геологические эры
Кайнозой 65	Q	Новейший (позднекайнозойский) незавершенный: 13–ныне	Позднефанерозойская (167–ныне)
	N		
	Pg	Позднемеловой–раннекайнозойский: 90–13	
Мезозой 245	K	Позднеюрский–раннемеловой: 167–90	Среднефанерозойская (400–167)
	J		
	T	Раннемезозойский: 245–167	
Палеозой 570	P	Позднепалеозойский: 325–245	Раннефанерозойская (630–400)
	C	Среднепалеозойский: 400–325	
	D		
	S	Раннепалеозойский: 480–400	
	O	Начальнопалеозойский: 550–480	
	Є		
Венд	V	Поздненевендский–раннекембрийский: 630–550	Позднедокембрийская (850–630)
		Ранненевендский: 710–630	

Какой практический смысл имеет предлагаемая схема историко-геологического деления? Она нужна, прежде всего, для правильного понимания общей схемы истории развития земной коры, а также может быть использована при историко-геологическом анализе определенных территорий или сложных тектонических систем. Кроме того, схема будет полезна при изложении курса исторической геологии. Когда мы говорим об истории каменноугольного, юрского, мелового и других периодов, то обязательно вынуждены делать оговорку, что в течение одной части каждого из периодов было что-то одно, а в другой — совсем иное. Для историко-геологических периодов с однотипной схемой тектоно-палеогеографического развития нужно лишь уточнять, что в какую-то из его эпох имели место активизация или затухание орогенеза, а также магматизм в развивающихся складчатых областях, появление своеобразных формаций, другие региональные особенности. Иными словами, данная информация излагается в рамках строгой возрастной и смысловой схемы. Такие эпохи, периоды и эры имеют вполне определенную продолжительность, что резко отличает их от периодов стратиграфической шкалы, длительность которых иногда разнится в разы.

Каждая из таких историко-геологических эр имеет свои особенности в глобальном и региональном масштабе. Так, средний фанерозой представляет собой время объединения материковых площадей, когда после ликвидации океана Япетус (Северной Атлантики) образовалась Лавразия в среднем палеозое, затем имело место формирование Пангеи в позднем палеозое, а в раннем мезозое начался ее раскол. Это время проявления позднекаледонского и герцинского геотектонических циклов, наиболее выразительных в Атлантическом секторе Земли. Соответственно, поздний фанерозой может рассматриваться как время формирования молодых, или нынешних океанов, а также активного развития складчатых систем вдоль Тихоокеанского пояса (киммерид, алинид). Такая же индивидуальность может быть установлена и для раннего фанерозоя.

Еще одной практической стороной предлагаемой периодичности следует считать возможность не ограничиваться при составлении тектонических карт лишь тремя-четырьмя используемыми для фанерозоя названиями, а выделять весь возможный их набор, в том числе обособлять системы с ранне- и позднекаледонским орогенезом (складчатостью), байкалиды и салаириды, полный спектр мезозойских орогенезов, включающих индосиниды, киммериды и алиниды, и собственно позднекайнозойскую складчатость, за которой сохранить название альпийской, а также разделять подвижные системы, развивающиеся по разным схемам цикличности. Это внесет вполне определенный историко-геодинамический смысл в такие построения, отражаемые на тектонических картах.

Пригодность предлагаемой историко-геологической периодизации может быть показана на примере анализа развития подвижных структур Украины. Так, начало среднего палеозоя знаменует наиболее существенную смену их структурного плана: начинаются устойчивые воздымания в пределах Вольно-Подольской плиты и прилежащих систем, а в результате общематерикового рифтогенеза закладывается прогиб Большого Донбасса. Эти события совпадают по времени с активными геосинклинальными прогибаниями в областях Урало-Монгольского и Средиземноморского поясов (Урал, Большой Кавказ, Центральная Европа, внутренние зоны Карпат).

Тот факт, что формирование Сарматского рифта не совпадает с инверсией режимов на Вольно-Подоллии, не может быть основанием для отрицания периодичности: с начала девона начались воздымания, а расколы и проседания в рифтовых зонах последовали лишь после достижения определенных гравитационных условий.

Поздний палеозой был временем герцинского орогенеза, проявленного преимущественно на соседних площадях, а также геосинклинальной стадии развития Донбасса, которые очень точно датированы и относятся к данному периоду. В ДДВ активные прогибания данного этапа обусловили формирование мощных нефтегазоносных толщ, перекрытых среднепермскими соленосными отложениями, а в первую его эпоху накопились угленосные отложения бассейна. Соответственно, ранний мезозой был временем орогенеза в Донецком складчатом сооружении и геосинклинальных прогибаний в пределах Горного Крыма. Поздняя юра—ранний мел совпадает не только с киммерийским орогенезом, но и с формированием Причерноморской впадины, которая в связи с этим может рассматриваться как краевой прогиб Горнокрымского складчатого сооружения. Четкой индивидуальностью характеризуется и позднемеловой—раннекайнозойский этап, первая эпоха которого проявлена обширным карбонатакоплением на платформенных площадях, а две другие — морскими терригенными отложениями в ДДВ. Наконец, данный историко-геологический период отвечает геосинклинальному развитию внешних зон Украинских Карпат, когда здесь проявилось активное флишенакпление.

Исходя из ранее сформулированных представлений о наиболее крупных ритмах в развитии Земли, может и должна быть пересмотрена схема докембрийского развития и деления структур земной коры. В приводимой ниже таблице показаны подразделения всей истории Земли, разделенные на равновеликие интервалы времени длительностью в 700 млн лет.

Таблица 9. Схема общего историко-геологического деления развития земной коры

Начало зона (млрд лет)	Наименование зон (мегаэтапов)	Шкала принятого деления	
0,25	Мезозойско-кайнозойский (незавершенный)	Фанерозой	
0,95	Позднедокембрийско-палеозойский	Поздний	Протерозой
1,65	Позднепротерозойский	Ранний	
2,35	Среднепротерозойский	Поздний	Архей
3,05	Позднеархейский—раннепротерозойский	Ранний	
3,75	Раннеархейский	Катархей	
4,45	Догеологический	Догеологическое развитие	

Названия их предложены на основе из уже привычных, утвердившихся для докембрия терминов. Но в дальнейшем они могут быть заменены более простыми, которые, к тому же, будут отражать их историко-геологическую суть.

В такой непривычной схеме историко-геологического деления и развития земной коры прослеживается определенная закономерность. Три наиболее молодых подразделения (зона, мегаэтапа) составляют время ее формирования уже в условиях после великого обновления, или в течение неохрона. До завершения этого мезозойско-кайнозойского неохрона остается еще 450 млн лет. Более ранний крупнейший интервал истории, включающий архейское-среднепротерозойское ее развитие, также состоит из трех равновеликих подразделений. Они знаменуют начальную стадию развития земной коры, совершающуюся в условиях начала формирования гидросферы, а затем и биосферы. Сущность и даже продолжительность догеологической стадии (мегаэтапа) пока неясна. Расшифровать более полную и глубокую структуру и суть всех таких подразделений — задача дальнейших исследований.

Проблемы современной геодинамики

В течение двух-трех последних десятилетий в науках о Земле оформилось новое научное направление, получившее название **геодинамика**. Такое понятие существовало и ранее (Геол. словарь, 1973), но оно подразумевало науку, изучающую динамику ядра, мантии, литосферы, гидросферы, атмосферы и околоземного космического пространства. **Нынешняя геодинамика** имеет иное содержание. В отличие от геологии, основной круг интересов которой связан с земной корой и литосферой, она изучает движение Земли в целом и ее составных частей. Геодинамика может рассматриваться как часть планетологии, основным направлением изучения которой являются движения внутренних частей нашей планеты, главным образом мантии и литосферы. Расшифровка таких вопросов относится к компетенции физики и астрономии, а также тех геологов, которые подготовлены в этой области знаний.

В составе такой геодинамики, по Л.П. Зоненшайну и Л.А. Савостину (1979), выделяется общая, частная и региональная геодинамика. Первая из них изучает конвективные движения в мантии Земли, происхождение ее горячих точек и другие вопросы. Частная геодинамика исследует литосферные плиты и их границы, процессы их наращивания и поглощения, а также скольжения и другие стороны плейттектоники. Основным предметом ее интереса являются движения литосферных плит (относительные и абсолютные их перемещения, выявление точки тройного сочленения), а также происхождение окраинных морей и активных континентальных окраин, палеогеодинамические реконструкции, позволяющие выделять историю движения плит, рассматривать историю материков и океанов. Региональная геодинамика уделяет внимание отдельным наиболее показательным или интересным зонам и структурам (Внутренняя и Северо-Восточная Азия, Байкальская и другие рифтовые зоны, образование возрожденных гор и др.).

Необходимо подчеркнуть, что такое направление нынешняя геодинамика приобрела в связи с активным развитием учения о литосферных плитах.

Но поскольку еще до его оформления в геотектонике сформировались представления о геосинклинальном процессе, длительно развивающихся глубинных разломах и глобальной регматической сети разломов, материковых системах рифтов, возникало много сложностей в их увязке. Затронем лишь некоторые противоречия классической геотектоники и плиттектоники, которые должна была решать геодинамика.

Учение о литосферных плитах предполагало перемещение этих структур по астеносфере — податливому к деформациям и относительно пластичному слою в верхней части мантии, что отличало эти построения от первоначального мобилизма Вегенера. Вместе с тем, на примере анализа некоторых складчатых сооружений хорошо доказаны крупные горизонтальные перемещения (надвиги, шарьяжи, тектонические покровы). Практически повсеместно наличие в основании материковой земной коры гранитного (гранитно-метаморфического) слоя, образованного, по всей видимости, за счет преобразования или плавления существенно глинистых пород, может свидетельствовать в пользу точки зрения Вегенера. Изучение глубинных разломов позволяло устанавливать не только вертикальные перемещения по ним, но и горизонтальные (сдвиги). Эти и другие данные позволили сформулировать представления о расслоении земной коры, наиболее четко сформулированные А.В. Пейве.

На 1950–1960-е гг. припал пик развития учения о глубинных разломах. Поэтому начавшееся развитие первых представлений о литосферных плитах, выявлявшихся в значительной степени на основании анализа океанических площадей, стало одной из причин того, что данный неомобилизм долгое время не воспринимался нашими исследователями. Выделение литосферных плит и определение закономерностей их перемещения развивалось одновременно с разделением материковой земной коры на блоки, разграниченные глубинными разломами или их системами, регматической сетью. Одной из причин трудного восприятия этих двух учений следует считать то, что и такие разломы или разделяемые ими блоки, и выделяемые сейчас литосферные плиты должны были пониматься не как вечно существующие структуры, а лишь как тела, перемещающиеся или формирующиеся в определенных интервалах времени. Выделение в НГТ микроплит определенным образом сближает такие схемы выделения составных частей литосферы.

Новую глобальную тектонику (НГТ) называют иногда революцией в геологии, и в этом нет большого преувеличения. Именно она позволила обособовать одновременное существование геосинклинальных режимов и горообразования в разных подвижных системах, возможность разработать принципиально новую схему развития геотектонических циклов и многие другие положения. Увлечение НГТ заставило некоторых исследователей предлагать категорически отказаться от использования термина «геосинклиналь», оставить дальнейшее изучение глубинных разломов и попытаться найти их место в НГТ, практически полностью отказаться от более углубленного изучения хронологии тектонических движений, которым занималась классическая геология. Не было серьезных попыток ни найти аналоги геосинклиналей в нынешнем размещении материковых и океанических площадей, ни обнаружить их место в схеме развития литосферных плит. А ведь рядовому исследователю, изучающему строение и историю развития

складчатого сооружения или составной его части, намного проще иметь представление о геосинклинали и инверсии режима в ней, чем о глобальных литосферных плитах, которые должны лишь формировать мировоззрение, а не решать конкретные задачи. Вероятно, такие смены парадигм или иные потери характерны для многих других революций, в том числе научных.

Еще один момент, на котором не делает акцент современная геодинамика, заключается в том, что рифтовые системы океанов и трансматериковые системы рифтов формируются в результате совершенно разных факторов. В первом случае это выход в приповерхностную часть глубинных зон литосферы в месте растяжения и раздвижения плит, а во втором — результат сжатий, воздыманий осадочно-метаморфического слоя земной коры и последующих расколов и гравитационных смещений. В приподнятой части воздымающейся и расколовшейся массы образуются провалы, формируется рифт и происходит расхождение прилежащих к нему частей. Рифт, кстати, иногда перерастает в геосинклинальные прогибания.

Наконец, современная геодинамика должна научиться разбираться в том, какие движения обусловлены эндогенными факторами Земли, а какие рождены космическими причинами. Это сложно, а зачастую и невозможно, ведь обычно так называемые эндогенные факторы являются реакцией нашей планеты на воздействие космоса. Тем не менее, именно геодинамика должна расшифровать геологическую природу структурно-геологических перестроек, тектонических фаз, эпох различной тектонической подвижности, образующих своеобразную пульсацию планеты. Интересно, что представления о пульсации Земли, рожденные еще в середине XX ст., развиваются многими исследователями и сейчас, хотя механизм этого процесса и движения неясен или не имеет однозначного понимания.

Космогеология: основные ее направления и проблемы

Вопросы воздействия космоса на развитие Земли и жизни на ней давно интересовали человечество и первых его ученых. Примером такого интереса и первых предположений в этой области можно назвать взгляды Аристотеля, пытавшегося объяснить землетрясения космическими причинами, или Плиния, описывавшего падение на земную поверхность метеоритов. Еще раньше в религиях разных народов фигурировало размещающееся на небе божество, которое предопределяло развитие земных процессов, включая создание Земли в результате шести дней творения. Высокоорганизованные наблюдения за небом характерны для многих цивилизаций — Египта, Древней Индии, древних народов Америки (инки и др.). Утверждение христианской религии остановило на время средних веков развитие природоведения в Европе. Но уже в период новой истории появляются космогонические представления Ж. Бюффона (1749), гипотеза И. Канта (1755) и П. Лапласа (1796), заложившие первые научные представления о происхождении Земли и Солнечной системы.

Первая половина XX ст. характеризовалась не только резким ростом общих объемов геологических исследований, но и попытками связывать с космосом различные события в развитии планеты. Попытка выявлять космическое воздействие на биосферу, фиксировать «земное эхо космических бурь» принадлежит А.Л. Чижевскому (1915). Вопросами влияния космоса

на геофизические процессы Земли занимался Н.А. Морозов (1944). Пионером геокосмологии в СССР принято считать Б.Л. Личкова, который с 1927 г. развивал это направление в Географическом обществе; оно тогда получило название «астрогеология». В тот же период модернизируются или появляются новые гипотезы о происхождении Земли, Солнечной системы (Т. Чемберлин, 1901; Ф. Мультион, 1905; Дж.Х. Джинс, 1919; О.Ю. Шмидт, 1944; В.Г. Фесенков, 1953 и др.).

Однако наиболее активное развитие космогеологических исследований приходится на вторую половину XX ст., что связано с изучением земной поверхности дистанционными методами, проведением геокартирования на больших площадях. Начинается целенаправленное изучение космической бомбардировки Земли, выявление ее импактных структур. Историко-геологические исследования и периодичность климатов и других явлений связывается с представлениями о космическом и галактическом годе (Г.Ф. Лунгергаузен, 1957; А.В. Орлова, 1963 и др.). В.И. Лебедев и В.М. Сидницын (1968) считают, что формирование на Земле гранитного слоя, которого нет на Луне и других планетах, — это результат воздействия космической энергии. В.М. Букановским (1960) предложен термин «геокосмология», которому обычно отдают предпочтение. Геокосмологию нужно отличать от астрогеологии, планетологии, геогении (космогении).

Вместе с тем, появляется большое количество материалов и публикаций по космогеологическим исследованиям (Б.П. Высоцкий, 1977; Космическая информация, 1983; Дистанционное зондирование, 1983, и др.), которые обычно понимаются как направление расшифровки структур земной коры по данным наблюдения из космоса. Начиная говорить о космическом земледелии (Э. Баррет, Л. Куртис, 1979), космическом методе изучения природной среды (Б.В. Виноградов, 1976). С 1980-х гг. появляется ряд обобщающих работ по космогеологии (Космогеология СССР, 1987; Основы космической геологии, 1987). С 1960-х гг. активно развивается тектоника литосферных плит, которая требует для объяснения такого явления новых подходов, в том числе привлечения данных о роли космоса в ее развитии.

К геокосмологии следует причислять изучение явлений глобального масштаба в плане их предполагаемой связи с ротационными и космическими факторами. Именно это научное направление должно расшифровывать аспекты планетарной морфометрии, включать учение о линейментах и регматической системе глубинных разломов. В числе вопросов и главных проблем данного научного направления рассматриваются расшифровка геологической природы нуклеаров, которые обычно трактуются как следы падения гигантских метеоритов в наиболее ранней истории Земли. Иногда аналогами таких структур считают Примексиканскую и Прикаспийскую впадины, а некоторые наиболее смелые гипотезы утверждают, что такую же природу имеет и котловина Тихого океана. Иногда уточняется, что это может быть место отрыва Луны. Наконец, некоторые крупные ученые, в числе которых был и А. Эйнштейн, предполагают, что результатом прецессии может быть нарушение вращения Земли, ее своеобразное «переворачивание» и, как следствие, резкая смена площадей материков и океанов. Историческая геология, устанавливающая существование в течение десятков и даже сотен миллионов лет устойчивых морских и океанических бассейнов, не подтверждает такое явление. Результатом каких-то подобных «переворачиваний» могут быть структурно-геологические перестройки.

Космогеология, развивающаяся на стыке геологии и астрономии, представляет собой весьма продуктивное научное направление, которое поможет решить ряд крупных проблем. Ранее уже приводились данные о том, что если бы сохранялись нынешние темпы поступления космического материала на земную поверхность, то наша планета могла бы сформироваться за 7 млрд лет. Это близкая к ее принимаемому возрасту величина. Учитывая, что в какие-то моменты или интервалы времени масштабы такого поступления резко менялись, возрастали, можно утверждать, что это интересный материал для развития космогонических гипотез и построений. Он же важен и для геологии, которая может строить на таких данных свою периодизацию развития земной коры и даже формулировать идеи о внутреннем составе Земли.

И еще один важный момент. Учитывая, что геология может обоснованно выявлять ритм в историко-геологическом развитии, равный 26 и 78 (75–80) млн лет, есть данные для обоснования возможности существования Немезиды – второй звезды в Солнечной системе. Данный вопрос должна решать астрономия, а геология лишь представляет для этого имеющуюся у нее информацию и ожидает от астрономии каких-то объяснений природы подобного явления. Вместе с тем, трехкратная соподчиненность ритмов в развитии земной коры требует от астрономии объяснения такого явления с позиции кинематики небесных тел.

Следует подчеркнуть, что направления исследований, входящих в состав того, что принято и можно называть космогеологией, весьма разнообразны. Это, прежде всего, изучение из космоса структур земной поверхности. Вторым не менее активным и крупным направлением работ стало изучение космической бомбардировки Земли – выявление масштабов данного явления и конкретных формирующихся структур, самого процесса коптогенеза, его периодичности и др. Но воздействие космоса на развитие планеты не ограничивается лишь привнесом вещества, а проявлено эпизодическим поступлением энергии, воздействующей на земные процессы, в том числе на движение ее литосферных плит (А.Н. Павлов, 1991). Наконец, в астрономии данные о строении земной коры и ее поверхности иногда используются для интерпретации подобных структур на других планетах (Н.П. Барабашов и др.), что также иногда рассматривается как составная часть космогеологических исследований, хотя все эти направления являются в значительной степени самостоятельными и разными по кругу интересов.

В целом направление исследований, которые можно определять как космогеологические, еще окончательно не оформилось. Понятия «геокосмология» и «космогеология» трактуются как синонимы. Необходимо уточнение структуры космогеологии, которая должна включать как уже приведенные выше положения, так и многие другие. В число основных проблем геокосмологии необходимо включить решение вопроса о роли космических факторов в перемещении литосферных плит, упорядочение иерархии ритмов в развитии земной коры, которые обусловлены воздействием космоса, а не эндогенными факторами. Представления о такой историко-геологической ритмичности должны быть объяснены с позиции механики небесных тел. До сих пор нет единой или даже близкой к единству точки зрения на причину катастроф прошлого и роль в ней космической бомбардировки. Все это вопросы нового крупного геологического направления исследований, которое может и должно продуктивно развиваться в ближайшем будущем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемый справочник представляет собой, вероятно, одну из первых попыток «втиснуть» огромную информацию о нескольких десятках крупных геологических наук и направлений в одну сравнительно небольшую по объему работу. Она ориентирована на самый широкий круг читателей — преподавателей, студентов, учителей, специалистов геологического профиля, которые смогут почерпнуть из справочника интересующие их сведения, а также может быть полезна людям, далеким от геологии, которые хотят уточнить что-то, их заинтересовавшее. Цель данной работы — систематизировать основные знания о данном направлении наук о Земле, показать возможности геологии в условиях меняющихся интересов современного общества. Также она может иметь и сугубо прикладное значение: отдельные разделы ее пригодны для использования в качестве основы учебных курсов в вузах.

Рассмотренные здесь геологические науки охарактеризованы неравномерно. Минералого-петрографическая, структурно-геологическая и палеонтологостратиграфическая информация сведена к минимуму; она в огромном объеме приведена в учебно-справочной литературе. В числе новых здесь положений следует назвать данные о важной роли космоса в развитии Земли, ритмичности разного порядка в формировании земной коры, принципиально новые представления о развитии во времени тектонических движений. Это позволяет или даже требует разработки иного подхода к периодизации геологической истории, уточнения или дополнения имеющихся представлений при составлении обзорных тектонических карт. Подчеркивается взаимосвязанность тех вопросов, которые рассматривают отдельные геологические науки, а также необходимость более тесной связи их с другими направлениями естествознания, экологии, социологии, технических наук. Все это показывает необходимость дальнейшей работы по созданию новых подобных геологических справочников, словарей, учебников или учебных пособий.

Нужно напомнить о том, что именно геология является единственной из наук естествознания, которая изучает историю развития природы; именно она формирует наше мировоззрение. Она разработала научные основы поисков и разработки полезных ископаемых, других направлений использования недр. Сейчас геология активно подключается к изучению природных катастроф прошлого и их прогнозированию, охране подземных вод и недр, разработке новых направлений использования окружающей среды. Только в Харькове геология как самостоятельный предмет изучается в восьми вузах; более трех десятков НИИ, проектных и производственных организаций имеют дело с подземными водами, другими направлениями использования недр. Вся эта деятельность требует определенных геологических знаний у специалистов, своеобразного повышения их квалификации в вопросах геологии.

ЛИТЕРАТУРА

Общие вопросы геологии

Безуглий А.М., Співачевський І.Г. Шкільний геологічний словник-довідник. — К. : Радянська школа, 1976. — 164 с.

Бондарчук В.Г. Образование и законы развития земной коры. — К. : Наук. думка, 1975. — 168 с.

Бубнов С.Н. Основные проблемы геологии. — М.—Л. : Госгоргеолнефтеиздат, 1934. — 183 с.

Высоцкий Б.П. Проблемы истории и методологии геологических наук. — М. : Недра, 1977. — 280 с.

Геологический словарь : В 2-х т. — М. : Недра, 1973. Т. 1 — 486 с. Т.2 — 456 с.

Горшков Г.П., Якушова А.Ф. Общая геология. Изд. 3-е. — М. : МГУ, 1973. — 592 с.

Добровольский В.В., Якушова А.Ф. Геология. — М. : Просвещение, 1979. — 304 с.

Заріцький П.В., Тихоненко Д.Г., Горін М.О. [та ін.] Геологія з основами мінералогії : Підручник для студ. аграр., екол., інж. спец. Вид. 3-е. — К. : Вища школа, 2007. — 459 с.

Идея развития в геологии : Вещественный и структурный аспекты. Сб. научн. трудов. — Новосибирск : Наука, СО, 1990. — 317 с.

Короновский Н.В., Якушова А.Ф. Основы геологии. — М. : Высш. шк., 1991. — 416 с.

Космическая информация в геологии. — М. : Наука, 1985. — 536 с.

Красулин В.С. Справочник техника-геолога. — М. : Недра, 1967. — 488 с.

Краткий геологический словарь для школьников/Г.И. Немков, Б.Е. Карский, Н.Г. Лин [и др.]. — М. : Недра, 1989. — 176 с.

Муравски Г. Толковый словарь немецких геологических терминов : Пер. с нем. — М. : Мир, 1980. — 373 с.

Мушкетов И.В. Физическая геология. — СПб., 1891. Ч. 1—2.

Общая и полевая геология/А.Н. Павлов, И.А. Одесский, А.И. Иванов [и др.]. — Л. : Недра, 1991. — 463 с.

Павлинов В.Н., Кизевальтер Д.С., Лин Н.Г. Основы геологии : Учебник. — М. : Недра, 1991. — 270 с.

Потьомкін М.П., Малинко В.В. Мінералогія і геологія : Підручник для Х класу середньої школи. — К. : Радянська школа, 1939. — 170 с.

Свинко Й.М., Сивий М.Я. Геологія з основами палеонтології : Підручник. — К. : Вища шк., 1995. — 255 с.

Соловійов В.О. Основы геологічних знань : Геологія в курсах географії, біології, екології : Навч. посібник. — Х. : Гриф, 2005. — 96 с.

Соловійов В.О. Геологічний словник-довідник. Ч. 1 — 110 с. Ч. 2 — 127 с./ Б-ка журн. «Географія». Вип. 2 (86). Вип. 3 (87). — Х. : «Основа», 2011.

Соловьев В.О. Основные закономерности развития земной коры. — Х. : ХГУ, 1992. — 109 с.

Вещество земной коры

Бетехтин А.Г. Курс минералогии. Изд. 2-е. — М. : Госгеолтехиздат, 1956. — 542 с.

Годовиков А.А. Минералогия. — М. : Недра, 1975. — 519 с.

- Заварицкий А.Н. Изверженные горные породы. — М. : АН СССР, 1956. — 479 с.
- Зарицкий П.В. Геохимия окружающей среды : Учебн. пособие. Изд. 2-е. — Х. : ХНУ, 2007. — 234 с.
- Кузнецов Е.А. Краткий курс петрографии магматических и метаморфических пород. — М. : МГУ, 1970. — 325 с.
- Куликов Б.Ф., Буканов В.В. Словарь камней-самоцветов. Изд. 2-е. — Л. : Недра, 1988. — 168 с.
- Лазаренко Е.К. Курс минералогии. — М. : Высш. шк., 1963. — 559 с.
- Логвиненко Н.В. Введение в методику исследований осадочных пород. — Х. : ХГУ, 1957. — 131 с.
- Логвиненко Н.В. Петрография осадочных пород. — М. : Высш. шк., 1967. — 400 с.
- Методы изучения осадочных пород : В 2 томах. — М. : Госгеолтехиздат, 1957.
- Петрографический словарь/Ф.Ю. Левинсон-Лессинг и Э.А. Струве. — М. : Госгеотехиздат, 1963. — 447 с.
- Петрографический словарь. — М. : Недра, 1981. — 496 с.
- Петрография/А.А. Маракушев, Т.И. Фролова, Л.Л. Перчук [и др.]. Ч.1. — М. : МГУ, 1976. — 384 с.
- Пустовалов Л.В. Петрография осадочных пород. Ч. 1. Основы литологии (петрологии) осадочных пород. — М. — Л. : Гостоптехиздат, 1940. — 476 с. Ч. 2. — 420 с.
- Рухин Л.Б. Основы литологии. Изд. 3-е. — Л. : Гостоптехиздат, 1969. — 240 с.
- Рыка В., Малишевская А. Петрографический словарь. Пер. с польск. — М. : Недра, 1989. — 590 с.
- Саранчина Г.М., Шинкарев Н.Ф. Петрология магматических и метаморфических пород. Изд. 2-е. — Л. : Недра, 1973. — 392 с.
- Сауков А.А. Геохимия. — М. : Наука, 1966. — 487 с.
- Соловьев П.П. Справочник по минералогии. —Л. — М. : Metallurgizdat, 1948. — 515 с.
- Справочник по петрографии Украины. — К. : Наук. думка, 1975. — 579 с.
- Справочное руководство по петрографии осадочных пород : В 2 томах. — Л. : Гостоптехиздат, 1958.
- Швецов М.С. Петрография осадочных пород. Изд. 3-е. — М. : Госгеолтехиздат, 1958. — 416 с.
- Штрюбель Г., Циммер З.Х. Минералогический словарь. — М. : Наука, 1987. — 497 с.
- Щербина В.В. Основы геохимии. — М. : Недра, 1972. — 296 с.

Структурная геология. Геотектоника

- Ажгирей Г.Д. Структурная геология. — М. : МГУ, 1956. — 495 с.
- Артюшков А.Д. Геодинамика. — М. : Наука, 1979. — 327 с.
- Белюсов В.В. Структурная геология. — М. : МГУ, 1961. — 207 с.
- Белюсов В.В. Геотектоника. — М., 1976. — 334 с.
- Бондарчук В.Г. Основные вопросы тектоорогении. — К. : Наук. думка, 1961. — 382 с.
- Вотах О.А. Структурные элементы Земли. — М. : Наука, 1976. — 192 с.
- Вотах О.А. Введение в геотектонику. — Новосибирск : Наука СО, 1985. — 181 с.

Геологические тела (терминологический справочник)/Под ред. Ю.А. Косыгина [и др.]. — М. : Недра, 1986. — 334 с.

Деннис Дж. Международный словарь английских тектонических терминов. — М. : Мир, 1971. — 288 с.

Елисеев Н.А. Структурная геология. — Л. : ЛГУ, 1953.

Зоненшайн Л.П., Савостин Л.А. Введение в геодинамику. — М. : Недра, 1979. — 311 с.

Кац Я.Г., Скарятин В.Д., Трофимов Д.М. Космические методы в геологии. — М. : МГУ, 1976. — 246 с.

Кац Я.Г., Тевелев А.В., Полетаев А.И. Основы космической геологии : Учебн. пособие. — М. : Недра, 1988. — 235 с.

Косыгин Ю.А. Тектоника. — М. : Недра, 1983. — 536 с.

Красный Л.И. Проблемы тектонической систематики. — М. : Недра, 1972. — 152 с.

Кронберг П. Дистанционное зондирование Земли. — М. : Мир, 1989. — 350 с.

Ле Пишон К., Франшто Ж., Боннин Ж. Тектоника плит. — М. : Мир, 1977. — 286 с.

Материалы по тектонической терминологии. Ч. 2. Типы тектонических движений, циклы и фазы тектогенеза. — Новосибирск : СО АН СССР, 1963. — 116 с.

Международный тектонический словарь : Пер. с англ./Под ред. Дж. Денниса, Г. Муравски, К. Вебера. — М. : Мир, 1991. — 190 с.

Михайлов А.Е. Основы структурной геологии и геологического картирования. Изд. 2-е. — М. : Недра, 1967. — 375 с.

Моисеев А.С. Введение в геотектонику. — Л. : ЛГУ, 1939. — 178 с.

Муратов М.В. Происхождение материков и океанических впадин. — М. : Наука, 1975. — 175 с.

Павлинов В.Н. Структурная геология и геологическое картирование с основами геотектоники. Ч. 1. Структурная геология. — М. : Недра, 1979. — 359 с.

Сократов Г.И. Структурная геология и геологическое картирование. — М. : Недра, 1972. — 279 с.

Соловьев В.О. Хронология тектонических движений : фазы, эпохи, циклы тектогенеза. — Х., 2011. — 112 с.

Справочник по тектонической терминологии/Под ред. Ю.А. Косыгина, Л.М. Парфенова. — М. : Недра, 1970. — 581 с.

Тетьяев М.М. Основы геотектоники. — М. : ОНТИ, 1934. — 288 с.

Унксов В.А. Тектоника плит. — Л. : Недра, 1981. — 288 с.

Усов М.А. Структурная геология. — М.—Л. : Госгеолтехиздат, 1940. — 135 с.

Формы геологических тел (терминологический справочник)/Под ред. Ю.А. Косыгина [и др.]. — Хабаровск : ДВНЦ АН СССР, 1974. — 288 с.

Хаин В.Е. Общая геотектоника. — М. : Недра, 1973. — 512 с.

Хаин В.Е., Михайлов А.Е. Общая геотектоника. — М. : Недра, 1985. — 326 с.

Хаин В.Е., Ломизе М.Г. Геотектоника с основами геодинамики : Учебник. — М. : МГУ, 1995. — 480 с.

Историческая геология. Стратиграфия. Палеонтология

Афанасьев С.Л. Геохронологическая шкала фанерозоя и проблема геологического времени. — М. : Недра, 1987. — 144 с.

Данбар К., Роджерс Дж. Основы стратиграфии. — М. : ИЛ, 1962. — 363 с.

Друшиц В.В., Обручева О.П. Палеонтология. Изд. 2-е. — М. : МГУ, 1971. — 414 с.

Ивахненко Н.Ф., Корабельников В.А. Живое прошлое Земли. — М. : Просвещение, 1987. — 225 с.

Историческая геология. Учебник для вузов/Немков Г.И., Левицкий Е.С., Грецишников И.А. [и др.]. — Изд. 2-е. — М. : Недра, 1986. — 352 с.

Историческая геология с основами палеонтологии/Е.В. Владимирская, А.Х. Кагарманов, Н.Я. Спасский [и др.]. — Л. : Недра, 1985. — 423 с.

Клюшников М.М., Онищенко С.М. Исторична геологія. — К. : Вища шк., 1975. — 296 с.

Коровин М.К. Историческая геология. — М. : Госгеолиздат, 1940. — 487 с.

Короновский Н.В., Хаин В.Е., Ясаманов Н.А. Историческая геология. Изд. 2-е. — М. : Академия, 2006. — 464 с.

Коуэн Р. История жизни. — К. : Наук. думка, 1982. — 218 с.

Крумбейн В.К., Слосс Л.Л. Стратиграфия и осадкообразование. — М. : Гостоптехиздат, 1960. — 411 с.

Леонов Г.П. Историческая геология. — М. : МГУ, 1956. — 364 с.

Леонов Г.П. Историческая геология. Палеозой. — М. : МГУ, 1985. — 381 с.

Михайлова И.А., Бондаренко О.Б., Обручева О.П. Общая палеонтология. — М. : МГУ, 1989. — 384 с.

Мороз С.А. Історія біосфери Землі : Навч. посібник: У 2 кн. — К. : Заповіт, 1996. Кн. 1. — 440 с. Кн. 2. — 422 с.

Палеонтологія, палеоекологія, еволюційна теорія, стратиграфія : Словник-довідник/За ред. В.П. Макридіна та І.С. Барскова. — Х. : Око, 1995. — 288 с.

Периодические процессы в геологии/Под ред. Н.В.Логвиненко. — Л. : Недра, 1976. — 264 с.

Рид Г., Уотсон Дж. История Земли. Поздние стадии истории Земли : Пер. с англ. — Л. : Недра, 1981. — 408 с.

Современная палеонтология. Методы, направления, проблемы, практическое приложение. Справочное пособие/Под ред. В.В. Меннера и В.П. Макридина. — М. : Недра, 1988. Т. 1. — 542 с. Т. 2. — 384 с.

Соловйов В.О. Бесіди про історію земної кори / Бібліотека журналу «Географія». Вип. 4 (76), 5 (77). — Х. : Основа, 2010. Ч. 1. — 95 с. Ч. 2. — 96 с.

Соловйов В.О. Исторична геологія. — Х. : Основа, 2012. — 127 с. Вип. 3 (99).

Соловьев В.О. Ритмы в развитии природы и общества. — Х. : Курсор, 2008. — 139 с.

Тесленко Ю.В. Краткий справочник по стратиграфической терминологии. — К. : Наук. думка, 1982. — 157 с.

Шкала геологического времени/Харленд У.Б. [и др.]. — М. : Мир, 1985. — 140 с.

Региональная геология. Геология Украины

Богоявленская О.В., Пучков В.Н., Федоров М.В. Геология СССР : Учебник. — М. : Недра, 1991. — 240 с.

Браун Д., Кэмпбелл К., Крук К. Геологическое развитие Австралии и Новой Зеландии. — М. : Мир, 1970. — 348 с.

Гансер А. Геология Гималаев. — М. : Мир, 1967. — 351 с.

Геологическое развитие Японских островов. — М. : Мир, 1968. — 719 с.

Геология и нефтегазоносность Украины : Учебное и справочное пособие / В.О. Соловьев, А.Н. Васильев [и др.]. — Х. : Курсор, 2007. — 294 с.

Кинг Ф. Тектоника Северной Америки. — М. : Мир, 1972. — 268 с.

Короновский Н.В. Краткий курс региональной геологии СССР. — М. : МГУ, 1976. — 398 с.

Кропоткин П.Н., Шахварстова К.А. Геологическое строение Тихоокеанского подвижного пояса. Тр. ГИН, В. 134. — М. : Наука, 1965. — 366 с.

Мезозойско-кайнозойские складчатые пояса. Матер. по сравнительной тектонике. Т. 1. Альпийско-Гималайские скл. области. — М. : Мир, 1977. — 453 с. Т. 2. Циркумтихоокеанские и карибские скл. области. — М. : Мир, 1977. — 478 с.

Милановский Е.Е. Геология СССР. — М. : МГУ. Ч.1, 1987. — 416 с. Ч. 2, 1989. — 271 с. Ч. 3, 1991. — 272 с.

Основы региональной геологии СССР : Учебник / Цейслер В.М. [и др.]. — М. : Недра, 1984. — 358 с.

Салун С.А. Тектоника и история развития Сихотэ-Алинской геосинклинальной складчатой системы. — М. : Недра, 1978. — 183 с.

Смирнова М.Н. Основы геологии СССР. Учебник. Изд. 3-е. — М. : Высш. шк., 1984. — 384 с.

Соловйов В.О. Геологічна будова України. Краєзнавчі маршрути / Бібліотека журналу «Географія», вип. 7 (67). — Х. : Основа, 2009. — 80 с.

Соловьев В.О., Киричик С.С., Кудрявцева О.Г. [и др.]. Геологические и геоэкологические маршруты по Украине. — Х. : Курсор, 2006. — 86 с.

Тектоника Евразии. — М. : Наука, 1966. — 487 с.

Тектоника Средиземноморского пояса. — М. : Наука, 1980. — 243 с.

Руттен М.Г. Геология Западной Европы. — М. : Мир, 1972. — 446 с.

Хаин В.Е. Региональная геотектоника. — М. : Недра, 1971. — 548 с.

Энциклопедия региональной геологии мира. Западное полушарие. — Л. : Наука, 1980. — 511 с.

Гидрогеология. Геоморфология. Палеогеография.

Полезные ископаемые. Геология нефти и газа

Бека К., Высоцкий И. Геология нефти и газа. — М. : Недра, 1976. — 592 с.

Белецкий Ю.С. Введение в металлогению и принципы составления металлогенических и прогнозных карт : Уч. пос. Ч. 1. — Х. : ХГУ, 1977. — 132 с.

Великий А.С. Структура рудных полей (в складчатых областях). — Л. : ЛГУ, 1961. — 275 с.

Водообмен в гидрогеологических структурах Украины : Водообмен в естественных условиях/Шестоपालов В.М., Лялько В.И., Огняник Н.С. [и др.]. – К. : Наук. думка, 1989.

Воеводин В.Н. Вторичные ресурсы минерально-сырьевого комплекса Украины (техногенные месторождения) : Метод. указ. – Х. : ХГУ, 1999. – 23 с.

Войлошников В.Д., Войлошников М.В. Мир полезных ископаемых. – К. : Освита, 1991. – 240 с.

Вольфсон Ф.И., Яковлев П.Д. Структуры рудных полей и месторождений. – М. : Недра, 1975. – 271 с.

Всеволожский В.А. Основы гидрогеологии. – М. : МГУ, 1991. – 351 с.

Высоцкий И.В., Высоцкий В.И., Оленин В.Б. Нефтегазоносные бассейны зарубежных стран. Изд 2-е., перераб. и доп. – М. : Недра, 1990. – 405 с.

Гаврилов В.П. Геология и минеральные ресурсы Мирового океана : Учебник. – М. : Недра, 1990. – 323 с.

Геология нефти и газа : Учебник для вузов/Э.А. Бакиров, В.И. Ермолкин, В.И. Ларин [и др.]. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Недра, 1990.

Довідник з нафтогазової справи/За ред. В.С. Бойка та ін. – К. : Львів, 1996. – 620 с.

Карцев А.А., Вагин С.Б., Шугрин В.П. Нефтегазовая гидрогеология. – М. : Наука, 1992. – 208 с.

Кирюхин В.А., Толстихин Н.И. Региональная гидрогеология. – М. : Недра, 1987. – 382 с.

Климентов П.П., Богданов Г.Я. Общая гидрогеология. – М. : Недра, 1977. – 357 с.

Костенко Н.П. Геоморфология. Изд. 2-е. – М. : Изд-во МГУ, 1999. – 383 с.

Крейтер В.М. Структуры рудных полей и месторождений. – М. : Госгеолтехиздат, 1956. – 272 с.

Леонтьев О.К., Рычагов Г.И. Общая геоморфология : Уч. пособие. – М. : Высш. шк., 1979. – 287 с.

Маевський Б.Й., Євдошук М.І., Лозинський О.Є. Нафтогазоносні провінції світу : Підручник. – К. : Наук. думка, 2002. – 403 с.

Маккавеев А.А. Словарь по гидрогеологии и инженерной геологии. – М. : Недра, 1971. – 216 с.

Мандрик Б.М., Чомко Д.Ф., Чомко Ф.В. Гідрогеологія : Підручник. – К. : КНУ, 2005. – 197 с.

Маруашвили Л.И. Палеогеографический словарь. – М. : Мысль, 1985. – 367 с.

Николаев Н.И. Новейшая тектоника и геодинамика литосферы. – М. : Недра, 1988. – 491 с.

Огняник М.С. Мінеральні води України : Підручник. – К. : ВПЦ К. ун-ту, 2000. – 220 с.

Основы гидрогеологии. Т. 1. Общая гидрогеология/Е.В. Пиннекер, Б.И. Писарский, С.Л. Шварцев [и др.]. – Новосибирск : Наука, 1980. – 231 с.

Основы гидрогеологии. Гидрогеохимия/С.Л. Шварцев, Е.В. Пиннекер, А.И. Перельман [и др.]. – Новосибирск : Наука, 1982.

- Панов Д.Г. Общая геоморфология. – М. : Высш. школа, 1966. – 427 с.
- Рухин Л.Б. Основы общей палеогеографии. – Л. : Гостоптехиздат, 1962. – 628 с.
- Словарь по геологии нефти и газа. – Л. : Недра, 1958. – 679 с.
- Смирнов В.И. Очерки металлогении. – М. : Госгеолтехиздат, 1963.
- Смирнов В.И. Геология полезных ископаемых. – М. : Недра, 1989. – 326 с.
- Соловьев В.О., Высочанский И.В., Кривуля С.В. [и др.]. Проблемы геологии нефти и газа. – Х., 2010. – 124 с.
- Соловьев В.О., Фык И.М., Яковлев А.О. Геология нефти и газа. Конспект лекций и методич. указания. – Х., НТУ «ХПИ», 2010. – 80 с.
- Теоретические основы и методы поисков и разведки скоплений нефти и газа : Учебник. Изд. 3-е/А.А. Бакиров [и др.]. – М. : Высш. шк., 1987. – 384 с.
- Терещенко В.А. О механизме циклической эволюции состава океанической воды в фанерозое//Геохимия, 1995. № 1. – С. 132 – 138.
- Терещенко В.А. Субокеанический термоартезианский круговорот воды//Вісник Харк. нац. ун-ту. №655. – Х. : Основа, 2005. – С. 68–72.
- Терещенко В.О. Гідрогеологія України : Навч. посібн. – Х. : ХНУ, 2006. – 44 с.
- Шелкачев В.Н. Отечественная и мировая нефтедобыча – история развития, современное состояние и прогнозы. – М.–Ижевск, 2002. – 132 с.
- Шукин И.С. Общая геоморфология. – М. : Изд-во МГУ. Т.1., 1960 – 615 с.; Т.2, 1964 – 564 с.; Т.3, 1974 – 382 с.
- Яремийчук Р.С., Возный В.Р. Основы горного производства нефти, газа и твердых полезных ископаемых. – К. : Кондор, 2006. – 376 с.

Инженерная геология. Экологическая геология. Охрана недр

- Адаменко О., Рудько Г. Екологічна геологія: Підручник. – К. : Манускрипт, 1998. – 348 с.
- Ананьев В.П., Потапов В.Д. Инженерная геология : Учеб. для строит. спец. вузов. Изд. 2-е. – М. : Высш. шк., 2002. – 511 с.
- Вронский В.А. Экология : Словарь-справочник. – Ростов н/Д : Феникс, 1997. – 576 с.
- Гвоздецкий Н.А. Карст. – М. : Мысль, 1981. – 214 с.
- Геологические памятники Украины : Справочник-путеводитель/ Н.Е. Коротченко, А.С. Ширица, А.Я. Качевский [и др.]. – К. : Наук. Думка, 1985. – 156 с.
- Геоэкология : Науч.-метод. книга по экологии/В.А. Боков, А.В. Ена, В.Г. Ена [и др.]. – Симферополь : Таврия, 1996. – 384 с.
- Гир Дж., Шах Х. Зыбкая твердь : Пер. с англ. – М. : Мир, 1988. – 220 с.
- Говард А., Ремсон И. Геология и охрана окружающей среды : Пер. с англ. – Л. : Недра, 1982. – 583 с.
- Гольдштейн М.Н., Царьков А.А., Черкасов И.И. Механика грунтов, основания и фундаменты. – М. : Транспорт, 1981. – 320 с.

- Горное дело. Терминологический словарь. Изд. 2-е. — М. : Недра, 1974. — 528 с.
- Далматов Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты. — Л. : Стройиздат, 1988. — 415 с.
- Екологія міст : Підручник. — К. : Лібра, 2000. — 464 с.
- Инженерная геология СССР : В 8 т. — М. : Изд-во МГУ, 1987. Т. 1. — 528 с.
- Комков Ф.В. Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. — М., 1978. — 326 с.
- Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика. — Л. : Недра, 1977. — 479 с.
- Маслов Н.Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов. — М. : Недра, 1984. — 224 с.
- Менцл В.Ф., Заруба В.М. Инженерная геология. — М. : Мир, 1986. — 239 с.
- Панов Г.Е., Петряшин Л.Ф., Лысянский Г.Н. Охрана окружающей среды на предприятиях нефтяной и газовой промышленности. — М. : Недра, 1986. — 244 с.
- Певзнер М.Е. Горная экология : Учеб. для вузов. — М. : Изд-во Моск. гос. горн. ун-та, 2003. — 395 с.
- Певзнер М.Е., Костовецкий В.П. Экология горного производства. — М. : Недра, 1990. — 235 с.
- Пешковский Л.М., Перескокова Т.М. Инженерная геология : Учеб. пособие для вузов. — Изд. 2-е. — М. : Высшая школа, 1982. — 341 с.
- Подземные воды. Экологическая геология. Инженерная геология. Использование и охрана недр : Словарь-справочник/В.О. Соловьев [и др.]. — Х. : Тарбут Лаам, 2005. — 248 с.
- Подобедов Н.С. Природные ресурсы Земли и охрана окружающей среды. — М. : Недра, 1985. — 236 с.
- Реймерс Н.Ф. Природопользование : Словарь-справочник. — М. : Мысль, 1990. — 637 с.
- Рудько Г., Адаменко О. Екологічний моніторинг геологічного середовища : Підручник. — Львів : ВЦ ЛНУ, 2001. — 260 с.
- Рудько Г.І., Гамеляк І.П. Основи загальної, інженерної та екологічної геології : Навч. посібн. — Чернівці : Букрек, 2003. — 423 с.
- Саваренский Ф.П. Инженерная геология. — М.—Л. : ОНТИ, 1937. — 216 с.
- Соловьев В.О., Немец К.А. Экология : Этапы развития и основные направления исследований. — Х. : РА, 1998. — 104 с.
- Соловьев В.О., Фык И.М., Прибылова В.Н. Экологическая геология. — Х. : Колорит, 2012. — 160 с.
- Сомервилл С.Г., Пауль М.А. Словарь по геотехнике : Пер. с англ. — М. : Недра, 1986. — 240 с.
- Стрижельчик Г.Г., Жиров А.В., Гольдфельд И.А. Краткий толковый словарь по геотехнике. — Х., 2006. — 82 с.
- Теоретические основы инженерной геологии. Социально-экономические аспекты/Под ред. Е.М. Сергеева. — М. : Недра, 1985. — 259 с.
- Терминологический словарь по инженерной геологии. — Берлин, 1973. Ч. 1 — 255 с. Ч. 2 — 403 с.

Терцаги К. Теория механики грунтов : Пер. с англ. — М. : Госстройиздат, 1961. — 507 с.

Тетюнова Ф.И. Гидрогеохимия техногенеза. — М. : Наука, 1987. — 335 с.

Топчиев А.Г. Геоэкология : географические основы природопользования. — Одесса : Астропринт, 1996. — 392 с.

Экологическая геология Украины : Справочное пособие/Е.Ф. Шнюков, В.М. Шестопалов, Е.А. Яковлев [и др.]. — К. : Наук. думка, 1993. — 407 с.

Экологические основы рекультивации земель/Под ред. Н.М. Черновой. — М. : Наука, 1985. — 183 с.

Экологические функции литосферы/В.Т. Трофимов, Д.Г. Зилинг, Т.А. Баробошкина [и др.]. — М. : Изд-во МГУ, 2000. — 432 с.

Яншин А.Л., Мелуа А.И. Уроки экологических просчетов. — М. : Мысль, 1991. — 429 с.

Для заметок

Для заметок

Науково-методичне видання

ДОВІДНИК З ГЕОЛОГІЇ
Навчальний посібник

Соловійов Володимир Остапович
Кривуля Сергій Вікторович
Терещенко Віктор Олександрович
Фик Ілля Михайлович
Щербина Володимир Григорович

За загальною редакцією В.О. Соловійова
Відповідальний редактор Т.О. Ярушевська
Комп'ютерне верстання О.Г. Безродного
Коректор М.В. Діденко

Підп. до друку 27.12.2012. Формат 60х90/16.
Папір офсет № 80. Гарнітура «NewtonС»
Друк офсет. Ум. друк. арк. 20. Обл.-вид. арк. 24,23
Тираж 300 пр. Зам. №. 57

Видано і віддруковано у ТОВ «Колорит»
на замовлення ФОП Глазкової І.М.
Свідоцтво про держреєстрацію № 248001700002872 від 12.09.2001