

ОСНОВЫ ТЕКТОНИКИ

Ю.А. КОСЫГИН



Книга «Основы тектоники» написана ученым с огромным опытом научной работы, под руководством которого выполнены крупные региональные тектонические исследования в Сибири и на Дальнем Востоке нашей страны.

Это оригинальный труд, систематизирующий и поднимающий на значительно более высокий уровень знания в области тектоники — науки сложной и интересной, обобщающей результаты разнообразных геологических и геофизических исследований и создающей структурную и историко-генетическую основу для различных геологических дисциплин, в том числе для учения о размещении полезных ископаемых в земной коре.

Книгу с большим интересом прочитают не только геологи, занимающиеся изучением тектоники тех или иных регионов Советского Союза и других стран, но также и специалисты всех отраслей геологических наук.

Ю.А. КОСЫТИН

ОСНОВЫ ТЕКТОНИКИ



Ю.А. КОСЫГИН

ОСНОВЫ ТЕКТОНИКИ

18434



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НЕДРА»
Москва, 1974



Косыгин Ю. А. Основы тектоники. М., «Недра», 1974. 216 с.

В книге излагаются основные принципы тектонических исследований и построений, в частности тектонического районирования. Выделены статические, динамические и ретроспективные системы. Изложены представления о статическом геологическом пространстве, геологических границах, телах и структурах; методах их выделения и описания. Сформулированы принципы тектонического картирования. Рассматривается слоистая структура Земли как основная структура, на базе которой развиваются тектонические дислокации различных типов. Выделены различные типы динамических систем. Рассмотрены ретроспективные системы (реконструкции) и их значение в решении теоретических и практических задач. В «Заключении» намечены основные проблемы, связанные с дальнейшим совершенствованием методологических основ тектоники.

Книга рассчитана на геологов, работающих в научных и производственных организациях, а также на студентов высших учебных заведений геологической специальности.

Таблиц 5, иллюстраций 10, список литературы — 198 назв.

Предисловие

В 1969 г. вышла в свет книга «Тектоника», в которой была дана развернутая характеристика основных объектов тектонических исследований, рассмотрена слоистая структура Земли, связанная с ее гравитационным полем и являющаяся основной геологической структурой, на базе которой развиваются разнообразные дизъюнктивные, пликативные и инъективные дислокации. Многими геологами дислокации считаются главным предметом исследования тектоники, и поэтому их типам, взаимоотношениям, системам и механизмам образования в книге было уделено значительное внимание. Были намечены пути тектонического районирования на основе формационного анализа. Формационный подход был противопоставлен геометрическому подходу, использованному в работах Э. Ога, М. М. Тетяева и др. При характеристике слоистой структуры, ее дислокаций, а также крупных структурных элементов осадочной оболочки Земли, геосинклинальных и платформенных областей автор стремился отделить описание структуры и вещественного состава (данные наблюдений) от вторичных ретроспективных реконструкций генетического и историко-геологического плана. При этом была показана, в частности на примере геосинклиналей, выводимость историко-геологических представлений из данных наблюдений. Особо рассматривались тектонические движения как современные геологические процессы и намечались пути реконструирования тектонических движений прошлого на основе наблюдений над слоистой структурой и ее дислокациями.

Поэтому, учитывая сказанное, не будем повторяться, а сконцентрируем свое внимание на тех методических разработках, теоретических представлениях и принципах, которые были лишь намечены в предыдущей книге, разовьем их и сведем в общую систему. За основу построения данной монографии принят системный подход с выделением в качестве основных типов статических, динамических и ретроспективных систем. В соответствии с системным подходом рассмотрены некоторые вопросы терминологии, чему способствовали наши предыдущие публикации [91 и др.], а также применение математики в решении геологических (тектонических) задач. Главное внимание уделено статическим системам. Введены и развиты фундаментальные понятия тектоники о геологическом пространстве, геологической границе, геологическом теле и геологической структуре, на основе которых сформулированы некоторые принципы тектонического картирования. Кратко охарактеризованы динамиче-

ские и ретроспективные системы, в частности представления о геологических процессах и различных типах ретроспективных реконструкций.

В целом книга посвящена методическим основам тектоники как их понимает автор.

В процессе написания книги автор пользовался советами многих своих товарищей геологов и геофизиков, которым выражает глубокую признательность. Автор особенно признателен Ч. Б. Борукаеву, Ю. А. Воронину, О. А. Вотаху, В. А. Кулындышеву, Л. М. Парфенову, Ю. С. Салину, В. А. Соловьеву. Автор также отмечает неоценимую помощь, которую ему оказали при подготовке рукописи к печати Л. П. Крегжде, Л. Е. Волощенко, Л. Н. Носачева, Н. И. Атомьева, Э. И. Слепенкова, Т. И. Владыко, И. И. Козырева, О. В. Услистова, М. Д. Алексеев, Л. И. Герасименко, Н. Г. Горелова, А. А. Коноваленко, В. И. Синюков.

Автор сознает, что предлагаемая книга должна вызвать ряд критических замечаний. За все эти замечания автор будет глубоко признателен.

Определение тектоники

Надо прежде всего условиться, что понимать под тектоникой. Вопрос определения науки не терминологический, а методологический.

В методологии принято характеризовать науку по объекту и предмету, целям и задачам, методам и средствам. Совокупность всех этих элементов образует единое целое или систему, т. е. то, что и следует понимать под наукой в широком смысле этого слова. Речь идет прежде всего о самом понимании объекта науки. Часто говорят, что ряд наук имеет один и тот же объект. Это значит, что все они оперируют одними и теми же индивидуальными (конкретными) явлениями. Но процесс научной абстракции протекает во всех этих науках по-разному. В результате этого мы строим внутри теоретической системы различные абстракции или модели этих явлений. Совокупность (система) конкретных исследуемых явлений, представляющих источник собственного эмпирического материала данной науки, рассматривается как ее объект. Совокупность (система) абстракций или моделей образует предмет данной науки [103].

Цели науки должны ограничиваться результатами, получаемыми в пределах самой науки. Нельзя называть, например, целью стратиграфии поиски полезных ископаемых, так как, хотя стратиграфия и направлена на достижение в конечном итоге этой цели, но сама эта цель достигается за пределами стратиграфии в рамках теории поисков, использующей стратиграфические результаты как одно из средств.

Для достижения цели наука решает некоторую совокупность задач. Методы, с помощью которых решаются задачи, делятся на методы наблюдения, экспериментальные и теоретические методы. В наблюдениях и экспериментах используются такие средства, как приборы, в теоретических методах средствами являются знаки (термины в языках) и обозначаемые ими понятия, а также законы, принципы, аксиомы.

Выделив науку по этим чертам, можно характеризовать ее функциональные связи с другими смежными науками [107]. При этом должны быть описаны как входные данные — результаты других наук, используемые в качестве исходного материала или средств решения, — так и выходные данные (окончательные результаты), причем для последних должно быть указано, в пределах каких наук, для решения каких задач они будут использованы и в качестве чего — средства решения или исходного материала.

Нельзя смешивать структурные признаки науки — то, чем отличается одна наука от другой (объект и предмет, задачи и цели,

методы и средства), и функциональные связи — каким научным продуктом и как они обмениваются. Функциональные связи должны описываться после выделения науки по структурным признакам, так как нельзя устанавливать связи того, что еще не выделено и не определено.

Анализ существующих определений

Прежде всего отметим, что термином «тектоника» обозначаются различные понятия. К. Науман, который ввел в обиход слово «тектоника», в своем учебнике «Геогнозия» в 1850 г. писал, что тектонист — это архитектор, отвечающий за форму, материал, положение и соединение отдельных частей земной коры [194]. Автор первого учебника по тектонике М. М. Тетяев определял тектонику (геотектонику) как науку о строении и развитии Земли [159]. Близкое по смыслу определение находим у Н. С. Шатского, который тектоникой называл науку о строении, движениях и развитии земной коры и о структуре и развитии Земли в целом [179, т. IV, стр. 61].

Однако такое, в основном правильное, использование термина «тектоника» не является общепринятым. Существует тенденция сужения роли тектоники, придания ей характера подсобной и частной геологической дисциплины. Сужение роли тектоники намечается в двух направлениях. Во-первых, в стремлении ограничить роль тектоники земной корой, т. е. наружной оболочкой Земли, расположенной выше поверхности Мохоровичича, во-вторых, в стремлении ограничить роль тектоники исследованием механизма тектонических движений.

Первое направление неприемлемо. Об этом хорошо было сказано у В. В. Белоусова в его ранних определениях. «Мы должны рассматривать Землю как единый, цельный «механизм». Формирование структуры земной коры, несомненно, теснейшим образом связано с процессами, протекающими на больших глубинах, и изолируя последние для особого изучения, мы лишаем себя возможности полностью понять то, что наблюдается в земной коре, так как нельзя хорошо понять часть, не изучив целого» [12, стр. 8].

Действительно, в тектонических построениях используются самые разнообразные данные (петрографические, сейсмологические, вулканологические и т. д.) и включаются области, охватывающие разные глубины Земли. Иллюстрацией этому служат, например, построения, касающиеся глубинных разломов Тихоокеанского пояса [73, 179 и др.], а также построения, касающиеся неоднородностей верхней мантии, размещения в ней глубинных магматических очагов.

Любое выборочное изучение структурных элементов и отношений препятствует выяснению самых общих отношений и связей между элементами, определяющими строение и развитие Земли в целом. Это особенно важно подчеркнуть, так как земная кора не всегда отделима от мантии Земли. Отличается земная кора от мантии только

по скоростям прохождения упругих волн и тем предполагаемым и недостоверным петрографическим свойствам, которые должны обуславливать это отличие. Вместе с тем земная кора теснейшим образом связана с мантией общностью тектонических процессов, например зонами глубинных разломов, поясами глубокофокусных землетрясений и магматическими явлениями, в связи с чем земная кора и верхняя мантия часто справедливо объединяются под названием тектоносферы.

Ограничение объема задач тектоники земной коры содержится в определении В. Е. Хаина [171] и Ю. А. Косыгина [87], оговаривающих, однако, что геотектоника изучает структуру земной коры, ее движения и развитие в связи с развитием Земли в целом.

Второго направления придерживались А. В. Пэк [133], определявший тектонику, как прикладную механику в самом широком смысле слова, П. Н. Кропоткин [93], Ж. Гогель [54] и многие другие. Это направление, в сущности, заключается в том, что тектоника должна заниматься геологическими объектами (структурами), созданными только за счет механических процессов. Это, конечно, не так. В сферу исследований тектоники входит строение Земли в целом и отдельных ее частей, а также геологических тел вне зависимости от того, претерпели они механические деформации или нет. Этого направления впоследствии стал придерживаться В. В. Белоусов. Предметом исследования геотектоники он стал считать «особенности строения и развития земной коры, которые определяются происходящими в ней механическими процессами, вызванными глубинными силами» [14, стр. 7]. Это ограничение определения тектоники связано с его представлениями об исключительной роли процессов саморазвития вещества в глубинах Земли. Из этих представлений следовал его вывод о примате в тектонике вертикальных движений. Все случаи горизонтальных движений рассматривались им лишь как результат того или иного преобразования вертикальных движений. Между тем, как теперь установлено даже точными геодезическими наблюдениями и исследованиями напряжений в очагах землетрясений, в земной коре широко развиты различные горизонтальные движения, которые в какой-то мере являются результатом ротационных сил и внешних космических влияний. Очевидно, что эти тектонические движения совершенно не соответствуют определению В. В. Белоусова.

Ж. Гогель [54] определяет тектонику как отрасль геологии, занимающуюся исследованием процессов деформации горных пород. Он считает ее прежде всего наукой исторической, имеющей задачу восстановления движений прошлых эпох. Со всем этим вряд ли можно согласиться, так как непосредственному наблюдению в тектонике, как и вообще в геологии, доступны только геологические тела, слабые осадочную оболочку Земли и Земли в целом, а также современные (наблюдаемые) геологические процессы. Движения же прошлых эпох могут быть лишь реконструированы на основании аналогий. Суждения о движениях и других геологических процессах прошлого

всегда будут зависеть от некоторых гипотез и могут приниматься лишь с той или иной вероятностью. Поэтому фундаментом тектонических знаний следует считать исследование состава Земли, ее структуры и современных тектонических процессов.

Высказанное здесь критическое отношение к двум тенденциям сужения области применения тектоники не означает дискриминацию этих тенденций. В конце концов термином «тектоника» каждый может обозначать различные объекты и в понятие «тектоника» вкладывать различные содержания. К однозначности термина можно подойти, если будет достигнуто общее согласие в отношении понятия, которому этот термин должен соответствовать. Правильно, если бы было установлено, что каждому из понятий, обозначаемых сейчас одним термином «тектоника», были бы присвоены собственные различные термины. Первому направлению можно поставить в соответствие термин «тектоника коры», а второму — «геомеханика». Если будет признано целесообразным тому, что здесь понимается под тектоникой, присвоить иное, может быть более удачное название, автор, оставляя за собой право при обсуждении этого вопроса аргументировать свою точку зрения, не стал бы возражать против замены названий, поскольку терминологические споры полезны лишь в том отношении, что они способствуют прогрессу в договоренности об однозначности терминов.

Подчеркнем, что в данной монографии тектоника и ее отношение к геологии и ее частям понимаются только так, как здесь будет определено. Поскольку признается, что тектоника является структурной основой геологии, т. е. решает не частные, а общие геологические задачи, в книге будут попутно рассматриваться вопросы общего геологического содержания.

Так, при изложении основ системного подхода будет идти речь о геологических исследованиях вообще. При рассмотрении статических и динамических систем придется касаться вопросов, всегда считающихся неотъемлемой принадлежностью минералогии и петрографии, так как нельзя было бы прийти к обобщенному пониманию геологической структуры и к различению уровней организации вещества.

Определение тектоники М. М. Тетяева — Н. С. Шатского правильно отражает суть тектоники, но страдает одним важным недостатком. В этом определении не отражено отношение тектоники к геологии. Чтобы достичь этого, тектонику следует определить через ближайшее родовое понятие, т. е. через понятие геологии. Она служит для структурного и историко-геологического синтеза результатов исследований геологических дисциплин различной специализации. Поэтому к тектонике предъявляются высокие требования в смысле развития ее методологических основ.

Поясним синтезирующее значение тектоники на примере. Так, тектоническое понятие геосинклинали является синтезом петрографических, вулканологических, геоморфологических, структурно-геологических, геохимических, сейсмологических, геофизических, био-

стратиграфических и иных данных, которые этим понятием связываются воедино. Понятие геосинклинали дает общую структурную основу для понимания пространственных соотношений разнородных данных. Оно представляет также основу, позволяющую реконструировать сложное развитие, в котором участвуют разнородные факторы и понимать их возможные взаимосвязи. К сожалению, понятие геосинклинали недостаточно четко выполняет свою функцию вследствие расплывчатости и недостаточной определенности. Но это уже касается несовершенства тектонического языка — вопроса, которого мы коснемся ниже. Другие понятия тектоники (платформа, глубинный разлом, рифтовый грабен, вулканический пояс, краевой прогиб и многие другие) играют такую же роль в синтезе геологических знаний разных специализаций.

При определении тектоники необходимо установить, что является ее объектом и предметом, каковы ее цели и задачи, методы и средства. Подчеркнем, что необходимы именно явные формулировки (объектом является то-то и то-то, цели исследования такие-то и такие-то), так как даже если мы и можем дать некоторую интерпретацию неявных формулировок, то не исключено, что кто-то другой может с других позиций интерпретировать этот текст по-другому.

Объект и предмет. Во многих определениях сказано, что тектоника изучает земную кору или Землю в целом: Это дает возможность понимать ее по-разному. Геохимия тоже изучает земную кору или Землю в целом, но это не значит, что геохимия и тектоника имеют один и тот же объект исследования. Геохимия и тектоника изучают Землю на разных уровнях организации вещества: геохимия — на атомно-молекулярном уровне, тектоника — на геологическом (планетарном) уровне. Ни атомы, ни минералы, ни какие-либо иные материальные тела других уровней тектоника не изучает; у нее нет для этого собственных методов наблюдения, собственных средств. Если ее с каких-то позиций и интересуют атомный и минеральный уровни организации, то сведения о них тектоника берет в готовом виде из геохимии и минералогии. Объектом тектоники являются только геологические тела рангом выше минерала, т. е. породы, геологические формации, формационные ряды, формационные комплексы, геосферы и, наконец, сама планета Земля. Именно применительно к этим объектам разработаны методы наблюдений, фиксации и переработки информации, именно из этих объектов тектоника черпает свой собственный (не заимствованный из других наук) эмпирический материал.

Поэтому правильным, очевидно, будет утверждение, что объектом тектоники являются геологические тела планетарного уровня организации вещества. Тогда модели структуры этих объектов будут предметом тектоники. Например, тектонические карты представляют собой графическое изображение моделей структур.

Цели и задачи. Строение и развитие земной коры или Земли в целом, упоминаемые в большинстве определений, могут быть истолкованы как цели тектоники. С учетом принятого определения

объекта мы могли бы сказать, что целью тектоники является установление строения и развития земной коры или Земли в целом на уровне геологических тел. Однако такая формулировка не может быть принята. Непосредственному изучению в тектонике, как вообще в геологии, доступны только геологические тела, слагающие земную кору или Землю в целом, а также современные (наблюдаемые) геологические процессы. Движения же прошлых эпох могут быть лишь реконструированы на основании аналогий. Суждения о движениях и геологических процессах прошлого всегда будут зависеть от некоторых гипотез. Поэтому, если говорить о цели, достижение которой может быть объективно проверено наблюдениями, то цели тектоники следует ограничить установлением структуры указанных геологических объектов.

Конструктивное определение

Определение понятия науки будет конструктивным, если из него вытекают какие-то полезные для развития этой науки следствия. Определение, которое мы можем предложить на основе проведенного анализа, таково: тектоника — это отрасль геологии, изучающая геологические тела планетарного уровня организации вещества с целью установления их структуры. Напомним, что планетарный уровень организации вещества Земли включает различные ранги объектов, начиная с пород и кончая планетой.

Тектоника касается пород через структурную геологию, в которой классифицируются формы геологических тел, выполненных той или иной породой, и через петроструктурный анализ — при определении отношений и ориентировки минеральных зерен в породе. Обе структурные задачи целесообразно сосредоточить в рамках петротектоники. Здесь, конечно, речь идет о геологических телах петрографической специализации, т. е. о некотором конкретном примере. Задачи тектоники значительно более широки. Она имеет дело с телами и структурами различных специализаций — биостратиграфической, физической, в частности сейсмологической, и т. д.

В иерархии объектов планетарного уровня организации вещества, выделяемых в петрографической специализации, за породами следуют геологические формации. Учение о формациях как закономерных ассоциациях пород развивалось внутри тектоники и уже оформилось в самостоятельное направление. Но за тектоникой по-прежнему сохраняется структурный аспект изучения геологических формаций. Сюда относится выделение и описание типов ритмичности флишевых формаций, типов слоистости угленосных формаций, структуры трапповых формаций и т. д.

Создание в тектонике формационного направления позволило подойти к характеристике объектов следующего, более высокого ранга — геосинклиналей, плит, орогенных впадин, глубинных разломов, вулканогенных поясов и т. д. — через представление их как

определенных рядов формаций. В практике тектонических исследований стало обычным обращаться к понятиям о геосинклинальных, платформенных и орогенных рядах формаций и выделять на их основе соответствующие структурные ярусы и этажи. Каждый из этих рядов отличается не только специфическим набором формаций, но и видами связей между ними, т. е. структурой.

Из формационных рядов состоят объекты еще более крупного ранга, названные условно формационными комплексами. Обобщающего термина для обозначения всего множества этих объектов пока не имеется. На тектонических картах они именуется складчатыми (геосинклинальными) комплексами, плитными (платформенными) комплексами, орогенными комплексами; например докембрийские складчатые комплексы древних платформ, байкальские, каледонские, герцинские, мезозойские складчатые комплексы молодых платформ и соответствующие им по положению в слоистой структуре орогенные и плитные комплексы. Наконец, в компетенцию тектоники входит описание структуры геосфер Земли, в особенности ее верхней сферы — осадочной оболочки, которая является наиболее изученной в этом отношении.

Далее следует изучение тектоники планеты, т. е. изучение формы, размеров, ориентировки, взаимоотношений геосфер. Итак, структурные исследования целесообразно вести в соответствии с рангом изучаемых объектов. Разграничение важно еще и потому, что для каждого ранга объектов потребуются, очевидно, свои методы исследования структуры. Это первое следствие из данного нами определения. Так как геологические тела выделяются в геологическом пространстве, являющемся частным случаем трехмерного эвклидова пространства, то для них должны быть справедливыми все закономерности, установленные для эвклидова пространства и выделяемых в нем тел. Другими словами, в тектонике применима вся эвклидова геометрия в широком смысле.

Функциональные связи

Тектоника связана следующими отношениями с отраслями геологической науки, изучающими специфические свойства вещества и обладающими для этого специальными методиками и аппаратурой.

Во-первых, в тектонических исследованиях строения Земли и истории ее развития или же строения и развития любых участков Земли обязательно используются специализированные (петрографические, биостратиграфические, геохимические, геофизические и т. д.) описания геологических объектов.

Во-вторых, общие принципы структурных статических и историко-генетических построений, разрабатываемые в тектонике, имеют широкое поле применения во всех специализированных отраслях геологии при решении вопросов пространственного размещения геологических объектов и суждении об их развитии по времени.

В-третьих, тектонические исследования, выясняющие общие закономерности строения и развития Земли, а также такие вопросы, как соотношение континентов и океанов, происхождение платформенных и геосинклинальных областей, связь магматических проявлений, рудоносности и метаморфизма с глубинными разломами, связь движений земной коры с глубинными процессами и т. д., создают общую научную основу для развития многих специализированных геологических исследований.

В-четвертых, для решения многих практических задач именно тектоника представляет каркас, скелет, координатную систему, к которой привязываются все данные о распределении месторождений полезных ископаемых и которая позволяет прогнозировать новые месторождения. Данные тектоники используются в инженерной геологии при проектировании сооружений, в сейсмологии — для предсказания землетрясений и т. д.

Из сказанного можно заключить, что тектоника как отрасль геологической науки служит связующим звеном для других геологических дисциплин, в том числе геофизики и геохимии. С этой точки зрения становится понятным высказывание о тектонике как о «науке», синтезирующей материал геологических наблюдений [12], как о «философии геологии» [168] не в смысле мировоззрения, а в смысле общей теоретической основы, как «о фокусе, в котором пересекаются различные направления геологических исследований» (Б. С. Соколов, 1961 г.).

В широком смысле тектонику можно было бы назвать *метагеологией*, поскольку она изучает структуру и закономерности геологических построений.

Однако в качестве философии или даже логики геологии тектоника пока не оправдывает себя в методологическом отношении, что наиболее ясно сказывается в неупорядоченности существующей терминологии и систем понятий.

Особое положение тектоники в системе геологических наук определяет и особую ее ответственность. От логической строгости и методологической разработки тектонических вопросов во многом зависит эффективность исследований, особенно в науках, потребляющих научный продукт тектоники и ставящих успешность решения своих задач в зависимость от доброкачественности этого продукта. В особенности это касается изучения пространственных закономерностей размещения полезных ископаемых, где тектоника выступает как важная прикладная наука.

Системные исследования в геологии и тектонике

Фундаментальное значение для тектонических и общегеологических исследований и построений имеет системный подход, позволяющий выделять в сложном мире геологических явлений три типа систем — статические, динамические и ретроспективные. Каждый тип систем характеризуется особой, свойственной ему природой элементов, их отношений и связей (структур), особыми принципами исследования, особыми подходами в понимании времени, особыми типами моделей. Смешение элементов, связей и структур систем различных типов недопустимо. Системы каждого данного типа должны исследоваться самостоятельно и отдельно, а также, что касается ретроспективных систем, последовательно. Иными словами, исследованиям ретроспективных систем должно предшествовать исследование статических и динамических систем, являющихся базисными для данной ретроспективной реконструкции. В соответствии с поставленными задачами результаты исследований систем каждого типа должны и могут быть синтезированы по определенным правилам, что позволяет в конечных выводах полностью использовать полученные в рамках систем всех типов результаты исследований разнообразных геологических объектов — тел, процессов и событий. Поясним сказанное более подробно.

В геологических (тектонических) исследованиях выделяются три основных направления.

К первому направлению относятся исследования строения Земли, последовательности залегания слоев, формы, размеров, состава и взаимоотношений геологических тел, размещения полезных ископаемых, выделения типов горных пород по их составу и структуре и ряд других вопросов, связанных с современным пространственным расположением и состоянием геологических объектов.

Второе направление составляют исследования современных геологических процессов, происходящих или на наших глазах или на глазах наших предшественников, т. е. на протяжении эпох цивилизаций. Это — динамические задачи. К ним относятся, в частности, современные движения земной поверхности, землетрясения и моретрясения, извержения вулканов и сопутствующие им явления, движения и современная геологическая деятельность ветра, ледников, подземных и наземных текучих вод и моря. Сюда же относятся явления твердых приливов, динамика магнитного поля Земли, ее тепловое излучение и другие непосредственно наблюдаемые процессы. Эта группа задач сводится к изучению физических процессов,

происходящих на Земле, в ее недрах, а также связанных с Землей, как с планетой.

Наконец, к третьему направлению относятся разнообразные историко-генетические исследования. Они касаются реконструкции геологического времени, а также вопросов последовательности образования слоев и других геологических тел, распространения и последовательности таких событий геологического прошлого, как процессов тектогенеза, метаморфизма, образования и разрушения залежей полезных ископаемых, трансгрессий, регрессий, оледенений и т. д. Сюда же относятся палеогеографические, палеотектонические, палеовулканологические и палеоклиматические реконструкции, а также вопросы генезиса горных пород, полезных ископаемых, тектонических форм и эволюция осадконакопления, вулканизма и других геологических процессов.

Выделение трех направлений в геологических исследованиях ново. Еще Э. Ог [123, стр. 1] указывал, что «... изучение нашей планеты может быть предпринято с самых различных точек зрения». К первой точке зрения или цели изучения Земли он относил ее описание, заключающееся в «рассмотрении элементов, которые входят в состав земной коры. Это будет физическое и химическое исследование простых и сложных тел и известных под именем минералов. . . наука о Земле может изучать само расположение различных составных элементов, смотря по тому, являются ли они в виде правильно лежащих слоев или в форме потоков или сплошными массами» [123, стр. 1]. Вторую точку зрения Э. Ог называет динамической, «имея в виду те силы, которые действуют на нашу планету, и те явления, которые имеют место на земной поверхности». Эту область явлений рассматривает часть геологии — наука, именуемая геофизикой (физикой земного шара, земной динамикой, геодинамикой, динамической геологией), которая «относится к описательной геологии так же, как физиология к прежней описательной биологии» [123, стр. 2]. К третьему направлению в геологии, включающему историческую геологию, он относит исследования, цель которых «начертать историю последовательных изменений земного шара в его развитии» [123, стр. 2]. Эту задачу Э. Ог характеризует как «более возвышенную» по сравнению с простым стратиграфическим описанием.

Важность таких ретроспективных реконструкций подчеркивает также Ж. Гогель, который считает, что описательный метод «не дает возможности понять природу и характер распространения горных пород. И все, напротив, проясняется, если применять исторический подход, стремясь выяснить происхождение горных пород» [56, стр. 51]. Им также подчеркивается роль наблюдений над современными процессами для палеогеографических реконструкций и суждений о процессах деформации горных пород в геологическом прошлом.

С. А. Яковлев выделял в геологии «статику — изучающую современное состояние и состав земной коры, динамику — рассматривающую геологические процессы и производимые ими изменения в зем-

ной коре, и историческую геологию — занимающуюся историей Земли и населяющего ее органического мира» [186, стр. 7]. Он считал, что для характеристики науки надо не только указать цели, какие она преследует, но и используемые для этих целей средства, методы. Поскольку геологические исследования можно разделить на три группы, то и методы, используемые в геологии, — на три категории. Это мнение, как мы увидим в дальнейшем, совершенно справедливо. С. А. Яковлев обратил внимание на использование в геологических исследованиях методов физики, химии и механики, экспериментального метода и метода актуализма, но не определил отношение этих методов к группам задач геологии.

Выделение трех направлений (точек зрения, аспектов, задач) очень важно в методологическом отношении, в частности, для прогресса геологии и в приближении ее к «точным» наукам. Эти три группы задач с достаточной ясностью были намечены Э. Огом и С. А. Яковлевым. Однако впоследствии, несмотря на существенные методологические различия этих задач, грани между ними как бы стерлись, в результате чего развивался своеобразный методологический пессимизм и скептическое отношение к возможности применения в геологии принципов точных наук. Создалась такая ситуация, в которой «геолог вынужден воспринимать наблюдаемые явления суммарно во всей их сложности» [16, стр. 14], математике же при решении геологических задач «оказывается недоступной сложность природного явления и внутренняя его нерасчленимость» [16, стр. 15]. Это положение не является, впрочем, безнадежным, и ниже мы увидим, что выделение направлений и групп задач или «точек зрения» Э. Ога включает в себе возможность расчлениения сложных природных явлений и использование таким путем определенных научных принципов и методов в геологических исследованиях. Действительно, подходы к решению задач трех перечисленных направлений оказываются существенно различными.

Задачи первого направления решаются пространственными построениями, при которых геологические тела и их сочетания представляются неподвижными. Рассматриваются размещения залежей полезных ископаемых, их пространственные соотношения со стратиграфическими подразделениями и тектоническими формами, но не их генезис. Типичными примерами задач первой группы являются описание химического, минералогического и петрографического состава, физических свойств, а также тектонических форм, разведка залежей полезных ископаемых, выяснение размера залежей, их формы, глубины залегания, мощности, пространственного распределения концентраций полезных ископаемых в залежи и т. д. К задачам этой группы относится также геологическое картирование и исследование глубинного строения Земли сейсмологическими и другими геофизическими методами.

Подход к решению задач второго направления является чисто физическим и связан с измерением скоростей, сил и других подобных физических параметров. Примерами задач второй группы является

измерение скоростей и направлений движений земной поверхности путем повторных нивелирований, триангуляций, записи показаний сейсмографов, наблюдения за футштоками, перемещением береговых линий и т. д. Сюда же относятся наблюдения за извержением вулканов, сопровождающими их сейсмическими и акустическими явлениями, скоростями, объемами и температурами движущихся лав, процессами их застывания и сопутствующими изменениями структуры, современными процессами рудообразования и минералообразования, процессами физического и химического выветривания и т. д. К тем же задачам принадлежит изучение движения ледников, современной абразии, осадконакопления в зоне литорали, в неритовой, батинальной и абиссальной областях океана, переноса вещества во взвешенном и растворенном состоянии морскими течениями, реками и т. д., его отложения и диагенеза.

Процессы, подобные хотя бы некоторым из геологических, совершающихся на наших глазах, могут быть воспроизведены экспериментально. Например, на всевозможных подвижных лотках моделируются процессы осаждения взвешенного осадка, переотложения осадков, дифференциации обломочного материала в процессе переноса и осадконакопления. На неподвижных лотках изучается образование трещин усыхания в илистых осадках. Прохождение ультразвуковых зон в применяемых при экспериментах миниатюрных слоистых моделях имитирует прохождение сейсмических упругих волн в земной коре. Геологические эксперименты не только способствуют исследованию современных геологических процессов, наблюдаемых в природе, но и имитируют, во-первых, современные геологические процессы, недоступные для наблюдения, во-вторых, геологические процессы длительностью, намного превышающей длительность тех интервалов времени, в которых наблюдаются современные процессы. К первым относятся эксперименты по тектоническим деформациям, образованию и преобразованию горных пород и минералов при высоких температурах и давлениях, имитирующие процессы, протекающие на больших глубинах в земной коре и мантии. Ко вторым относятся эксперименты, в которых благодаря применению модельных материалов, обладающих значительно более низкой вязкостью или прочностью, чем горные породы, удается имитировать обладающие большой длительностью процессы тектонической деформации в виде процесса, сжатого во времени и укладываемого в рамки эксперимента.

Когда речь идет о геологических экспериментах, имеется в виду возможность использования научных предположений (гипотез).

Природные геологические процессы, а также процессы, протекающие в экспериментальных условиях, являются физическими, химическими или механическими процессами и исследуются методами соответствующих наук.

Решение задач третьего направления весьма специфично и осуществляется методами, которые, скорее всего, можно назвать логическими. Действительно, ни геологическую историю, ни процессы

геологического прошлого мы не можем непосредственно наблюдать. Для восстановления последовательности событий геологического прошлого, выяснения генезиса геологических образований и прослеживания эволюции геологических процессов мы, во-первых, обладаем данными о статической структуре Земли или ее участков, о геологических телах, их составе и взаимоотношениях, во-вторых, данными наблюдений над современными процессами и их результатами в естественных и экспериментальных условиях. Рассматривая статическую структуру, мы можем геологические тела истолковать в качестве результатов событий геологического прошлого, трактуя последовательность тел как последовательность событий. Образования, получившиеся в результате геологических процессов в природной и экспериментальной обстановке, мы можем сравнивать с геологическими образованиями, заключенными в недрах осадочной оболочки Земли, и по аналогии судить о возможных процессах в геологическом прошлом.

Таким образом, решение задач третьей группы заключается не в измерениях или наблюдениях, а лишь в реконструкциях.

Задачи первого направления назовем *статическими*, задачи второго — *динамическими*, а задачи третьего направления — *ретроспективными*, т. е. обращенными в прошлое. Мы уже видели, что решение задач каждого направления требует особого подхода, особой методики. Для того чтобы уточнить различия между охарактеризованными направлениями, обратимся к представлению о системах как сложных объектах (предметах, явлениях, ситуациях), в которых можно выделять составные части — элементы и в которых эти элементы объединены определенными связями и отношениями. Совокупность связей и отношений системы называется ее структурой [113]. Для исследования сложных объектов строятся их модели (макеты, чертежи, колонки цифр или формулы), причем элементам и связям между элементами в модели соответствуют элементы и связи между элементами оригинала. Непосредственные измерения и наблюдения характеристик системы (оригинала) соответствуют уровню наблюдений, а построения, относящиеся к модели, — уровню конструкторов.

Системные исследования (системный подход, системное движение, общая теория систем), которым уделяется сейчас во всех отраслях знания все больше и больше внимания [18, 135], заключаются в выделении и изучении органичных целостностей, множеств взаимосвязанных элементов, причем считаются существенными только системообразующие связи. Часто говорят о *структурно-системных исследованиях*, имея в виду, что в отдельных случаях можно ограничиться исследованием структуры, не углубляясь в изучение элементов как таковых.

При исследовании сложного объекта в качестве системы следует предполагать, что элементы этого объекта представляют собой определенное множество, а связи и отношения между элементами также определены и в известном смысле однородны. Сложные объекты

могут иметь иерархическое строение; изучив структуру данной системы, можно перейти к изучению ее элементов, рассматриваемых в качестве систем второго ранга, а затем переходить таким путем к системам третьего ранга и т. д. Таким образом, вводится понятие об иерархии и рангах систем (или элементов), широко используемое в стратиграфии.

В природе в качестве системы мы можем выделить, например, множество космических тел, связанных пространственными отношениями и гравитационными связями. В качестве системы можно представить множество физических тел и явлений, связи которых определяются физическими законами. К иной системе будут относиться химические соединения и реакции. Эта система требует своей методики исследований, отличной от физической.

Геология настолько сложна и многопланова, что сведение ее к единой системе с едиными принципами и методикой исследования не представляется возможным. При исследовании Земли могут выделяться и рассматриваться разнообразные системы, слагающиеся из различных по существу (тела, события и т. д.) элементов и обладающих структурами, определяемыми различными отношениями и связями.

С выделенными выше тремя направлениями и группами задач геологических исследований можно сопоставить три типа систем — статический, динамический и ретроспективный, разных по характеру связей элементов, принципам и методам исследований. При этом имеется в виду, что важной особенностью ретроспективных систем является отсутствие у них оригиналов. По этому признаку можно различить два класса систем: 1) системы, имеющие оригинал, и 2) системы, не имеющие оригинала. К первому классу принадлежат статические и динамические, ко второму — ретроспективные системы.

Статические, динамические и ретроспективные системы

В качестве статических систем рассматриваются сложные объекты, состоящие из геологических тел. Объекты эти выделяются в соответствии с принципом специализации, т. е. по определенному набору признаков. Например, совокупность слоев, выделяемых по биостратиграфическим признакам (кембрийская, ордовикская, силурийская стратиграфические системы и т. д.), совокупность слоев, выделяемых по физическим свойствам (земная кора, мантия, ядро, слой высокого сопротивления), совокупность тел, выделяемых по петрографическим или литологическим свойствам (слой песчаника, глинистая толща, гранитный массив, соляной шток), должны рассматриваться как различные системы одного типа. В статических системах время является фиксированным, иными словами, рассматриваются только пространственные отношения между элементами. При пере-

ходе от статической системы одной специализации к статической системе другой специализации следует проводить корреляцию признаков, что позволяет интерпретировать одну статическую систему на языке другой статической системы.

В качестве динамических систем могут рассматриваться планета Земля в целом с ее современными движениями и современными процессами, земная поверхность и ее современные движения, земная кора и ее сейсмические колебания, один из сейсмических районов, совокупность современных вулканов, один из вулканов и его извержения, процессы переноса и отложения осадков в какой-либо речной системе, любой геологический процесс, моделируемый на экспериментальных стендах, и т. д. В основе исследования динамических систем лежат принципы физики, химии и механики с использованием физического времени и с применением часов, причем под часами понимается любой периодический процесс (качание маятника, суточное вращение Земли, годовое обращение Земли вокруг Солнца и т. д.). Структуры систем образуются пространственно-временными отношениями и причинно-следственными связями их элементов.

Ретроспективные системы занимают особое положение. Как было показано при рассмотрении направлений и групп задач, они полностью выводятся из результатов исследований статических и динамических систем и потому могут характеризоваться только на уровне конструкторов. Короче говоря — это системы, представленные только моделями и не имеющие оригиналов. Точнее, оригиналы их находятся полностью в прошлом и не могут быть исследованы на уровне наблюдений. Мы можем иметь дело только с моделями, которые строим косвенно, исходя из данных исследования статических и динамических систем.

В основе построения и исследования ретроспективных систем лежат историко-геологические принципы (аксиомы) — прежде всего это принцип актуализма и принцип последовательности формирования геологических тел. Принцип актуализма понимается широко как возможность сравнения ископаемых геологических образований с образованиями, полученными в результате современных природных и экспериментальных процессов и использования получающихся при этом аналогий. В построениях фигурирует геологическое время, т. е. время, реконструируемое как последовательность событий (логическое время).

Нетрудно заметить, что принцип последовательности напластования является именно модификацией принципа актуализма. Действительно, почему мы имеем право утверждать, что верхний слой моложе нижнего? Только по аналогии с наблюдаемыми природными и экспериментальными процессами. Последовательность слоеобразования видна в результатах современных эоловых процессов, ее можно наблюдать в реках, быстро формирующих свои аллювиальные отложения, на вулканах при формировании лавовых или грязевых потоков. Последовательность слоеобразования легко воспроиз-

водится экспериментально (например, при засыпке какой-либо емкости последовательными порциями различных сыпучих материалов). Следовательно, чем позднее образуется слой, тем он занимает более высокое положение в разрезе. Используя принцип актуализма, приходим к выводу, что и в древних толщах имеет место такая же последовательность. Однако принцип последовательности напластования (так же, как и более общий принцип актуализма) не абсолютен, т. е. не ведет к совершенно достоверным решениям. Он не распространяется на такие случаи, когда слои образованы не за счет накопления материала на поверхности Земли, а за счет последующего преобразования осадков (диагенез), горных пород (например, доломитизация), за счет зарастания торфяных болот сверху вниз и т. д.

Структуры ретроспективной системы определяются реконструированными отношениями последовательности (раньше, позже, одновременно) и реконструированными причинно-следственными связями. В первом случае ретроспективные системы могут быть представлены реконструкциями геологического времени, например системами хроностратиграфических подразделений; во втором случае — генетическими схемами или теориями (например, теория происхождения нефти, гипотеза об эндогенной природе яшмовых формаций, представление о палеогеографической и палеоклиматической обстановке образования различных типов осадочных пород и т. д.); синтез реконструкции времени и реконструкции генетического типа позволяет перейти к высшему типу ретроспективных систем — историко-геологическим реконструкциям.

Основные различия трех групп задач и типов систем иллюстрируются табл. 1, представляющей собой лишь предварительную схему. В процессе исследований может оказаться необходимым подразделить типы систем на подтипы. Так, уже намечается подразделение типа динамических систем на подтипы природных и экспериментальных динамических систем, а типа ретроспективных систем — на хроностратиграфический, генетический и историко-геологический подтипы.

То обстоятельство, что каждой группе (подгруппе) задач и каждому типу (подтипу) систем присущи свои принципы исследования, сообразные с типами связей и отношений между изучаемыми элементами систем, а также свой подход к оценке времени, определяет особую методику при решении задач каждой из выделенных групп в геологических исследованиях.

Методологические системы

В отдельных научных дисциплинах, относящихся к геологии, могут быть представлены или одно или два из трех охарактеризованных направлений исследования.

Например, в экспериментальных дисциплинах (экспериментальная тектоника, экспериментальная минералогия), а также в сейсмо-

Характеристика статических, динамических и ретроспективных систем

Класс	Тип	Элементы	Отношения	Связи	Принципы исследования	Время	Результаты
Системы, имеющие оригинал	Статический	Геологические тела	Пространственные	Атомно-молекулярные и гравитационные	Специализации	Фиксированное	Геологические и геофизические карты и разрезы. Графики с фиксированным временем. Петрографическое описание
	Динамический	Геологические процессы и состояния	Пространственно-временные	Причинно-следственные	Физики, химии и механики	Физическое	Графики с временем в качестве одной из переменных
Системы, не имеющие оригинала	Ретроспективный	Реконструированные геологические события и процессы	Реконструированные отношения последовательности	Реконструированные причинно-следственные	Актуализма	Логическое	Палеогеологические карты и разрезы. Карты фаций, схемы генезиса и эволюции

логии используется одно — динамическое направление; в стратиграфии — два направления — статическое, представленное описанием пространственных последовательностей слоев в разрезах, и ретроспективное, выясняющее последовательность образования слоев во времени и разрабатывающее системы хроностратиграфических подразделений разрезов.

В петрографии представлены все три направления. Первое направление хорошо характеризуется словами А. Н. Заварицкого [74, стр. 10]: «Ответы на вопросы трех групп: 1) из чего состоит данная горная порода, т. е. вопросы минерального и химического состава; 2) как горная порода сложена из этих составных частей, т. е. вопросы структуры и текстуры; 3) как эта горная порода находится в природе — вопросы, касающиеся ассоциаций ее с другими породами и заключающие тот фактический материал, который составляет содержание собственно петрографии, т. е. описательная часть науки о горных породах». Второе направление в петрографии представлено главным образом, экспериментальной петрографией, а также в немногих случаях непосредственными наблюдениями в природе за формированием горных пород в результате быстро протекающих процессов (застывание лав, современные минералообразования в кальдерах вулканов, затвердение потоков глинистых брекчий грязевых вулканов и т. д.); результаты этих экспериментов и наблюдений при использовании принципа актуализма позволяют строить генетические модели горных пород.

Ретроспективные реконструкции, составляющие третье направление, основываются на наблюдении над статическими петрографическими структурами и заключаются в определении последовательности формирования минералов, составляющих горную породу.

Выясним соотношения основных направлений геологических исследований, которые, в конечном счете, реализуются в решении практических и иных геологических задач. Практические задачи можно, по-видимому, свести к двум основным группам. Во-первых, эти задачи так или иначе связаны с разведкой и поисками полезных ископаемых, в том числе минеральных вод, термальных вод, как теплоносителей, и т. д. Во-вторых, эти задачи связаны с изучением земной поверхности и отчасти земных недр как элементов географической среды обитания человека (изучение землетрясений, моретрясений, вековых колебаний земной поверхности, геологической деятельности текучих вод и ветра и т. д.). Под иными геологическими задачами понимаются такие, которые, на первый взгляд, в настоящее время не связаны непосредственно с практическими целями. Такими задачами могут быть, например, установление залегания какого-либо лишнего полезных ископаемых пласта, выяснение условий (температура, соленость вод, глубина водоема, глубина магматического очага) формирования горной породы, происхождения и механизм образования складок в слоистых толщах и т. д. Однако опыт показывает, что никакая геологическая задача не может и не должна сво-

даться к чисто любительской: она всегда, в конечном счете, замыкается на некоторую практическую цель.

Сочетание и соотношение основных направлений могут быть весьма различными и зависят от конкретных особенностей поставленной задачи. Многие задачи решаются в плане лишь одного направления с использованием соответствующей системы с присущими ей типами связей и отношений, принципами и методами исследований, временем и основными типами моделей. С другой стороны, для решения ряда задач могут применяться весьма сложные сочетания направлений, которые в таком случае выступают в качестве элементов некоторых методологических систем, в которых отношения могут быть представлены принципами исследования и построениями, связывающими одну систему с другой. Можно наметить следующие типы методологических систем, используемых в решении задач, связанных с поисками полезных ископаемых: а) методологические системы, которые могут включать одну или несколько статических систем различной специализации; б) методологические системы, включающие ретроспективные реконструкции. Сложные методологические системы, включающие ретроспективные реконструкции, широко используются в исследованиях осадочной оболочки и ее гипергенной слонстой структуры. В изучении гипогенных структур они имеют очень ограниченное применение.

Для всех методологических систем, включающих ретроспективные конструкты, характерно возвращение к статическим системам на более высокой ступени и через них к практическим целям исследования. Почему же, имея в виду в качестве исходного пункта исследования статические объекты, мы используем ретроспективные построения с тем, чтобы снова вернуться к статической модели. На этот вопрос можно ответить следующим образом. Характер исследования геологических объектов весьма специфичен. Имея в виду главным образом изучение пространственных отношений геологических тел, структурных форм и т. д., т. е. то, что определяет размещение полезных ископаемых, мы не имеем возможности проводить наблюдения и измерения в любой точке исследуемого нами пространства. Толща Земли не просматривается геологом непосредственно. Наши возможности ограничиваются наблюдениями в отдельных точках, часто далеко отстоящих друг от друга; в благоприятных случаях мы можем вести наблюдения на отрезках линий (буровые скважины с полным отбором керна), на участках поверхностей (районы сплошной обнаженности, обнажения в высоких обрывах), но никогда в сплошном и непрерывном трехмерном пространстве. В результате получается, что собранные нами данные характеризуют строение изучаемого района (объема) весьма неполно, а часто настолько неполно, что пространственные соотношения между телами, определенные по отдельным точкам наблюдения, остаются вообще неясными или могут быть истолкованы весьма различно.

Здесь нам приходят на помощь системы рабочих гипотез, помогающих представлять наиболее вероятные связи между отдельными

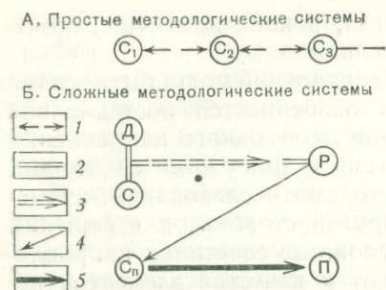


Рис. 1. Методологические системы (А — простые и Б — сложные). С — статические системы; C_1, C_2, C_3 — статические системы различной специализации; C_n — прогнозные модели статических систем; Д — динамические системы; Р — ретроспективные системы; П — практический результат.

1 — корреляция признаков разной специализации; 2 — сравнения по пространственной аналогии; 3 — построение ретроспективной модели по принципу актуализма; 4 — построение прогнозной модели; 5 — практическая реализация

реконструкциях, позволяющих существенно дополнять, а часто выяснять картину размещения геологических объектов, в том числе полезных ископаемых.

Из сказанного следует, что ретроспективные конструкты играют весьма важную роль в изучении геологического строения, но не могут являться самоцелью. При разработке и совершенствовании методики изучения геологического строения необходимо проводить четкую грань между геологическими наблюдениями и собственно структурными построениями, с одной стороны, и системами вспомогательных ретроспективных концепций — с другой.

Приведем схему методологической системы, включающей ретроспективные конструкты (рис. 1). На схеме показана некоторая исходная статическая система. Исследования этой системы могут проводиться как на уровне наблюдений (полевые описания, геофизические измерения), так и на уровне конструктов (структурные построения и модели), а также включать несколько статических систем разной специализации, которые при установлении корреляционных соотношений между определяющими их признаками могут быть интерпретированы на языке одной из этих систем (использование сейсмологических, гравитационных, магнитных и петрографических систем для построения модели, охарактеризованной петрографическими признаками, например геологического разреза).

Сравнивая статическую систему, ее элементы или связи с результатами некоторого наблюдаемого в природе, воспроизводимого экспериментально или построенного теоретически процесса, мы по распространенной аналогии можем представить себе нашу систему (ее элементы, связи) как результат аналогичного процесса. Очевидно,

точками наблюдений. Эти системы рабочих гипотез включают представления о последовательности событий и о причинно-следственных связях. Гипотезы о последовательности событий помогают высказывать предположения о пространственных отношениях объектов, которые могут быть проверены наблюдениями (разведочными работами, бурением, геофизическими измерениями). Таким образом, системы рабочих гипотез, намечающих последовательность событий геологической истории, являются мощным инструментом отыскания правильных решений в структурных геологических построениях, а следовательно, в поисках полезных ископаемых. Аналогичные соображения можно привести о генетических историко-геологических и эволюционных

в данном случае мы имеем дело именно с распространенной аналогией, представляющей такое суждение, при котором по сходству явлений заключают о сходстве причин (или генезисе). Используя принцип актуализма (геологическая модификация распространенной аналогии), мы переносим суждение о генезисе статической системы на геологическое прошлое и строим ретроспективную модель. Рабочие гипотезы (ретроспективные конструкции) о временных отношениях между телами (событиями) или о процессах геологического прошлого позволяют существенно уточнять и дополнять (корректировать) модель исходной статической системы, а также строить модели для аналогичных статических систем, для которых ранее, в силу недостаточной их изученности, модели не могли быть построены. Модели статических систем, дополненные, скорректированные или заново построенные, с использованием ретроспективных реконструкций могут быть названы прогнозными моделями. Они путем дополнительных исследований (разведочных работ) реализуются в практических целях.

Некоторые считают, что построения ретроспективных (исторических, генетических, эволюционных) систем хотя и являются необходимыми для познания Земли и ее эволюции, но совершенно излишни в решении практических задач, в частности поисков полезных ископаемых. В свете этих высказываний, для всех практических прогнозов достаточно исследования исходных статических систем, выяснения пространственных закономерностей (закономерностей размещения) и построения прогнозных моделей на основе экстраполяции и интерполяции. С такими утверждениями трудно согласиться, так как любая ретроспективная реконструкция и основывающиеся на ней рабочие гипотезы включают в себя данные исследования как исходных статических систем, так и динамических систем, используемых в этой реконструкции на основе принципа актуализма. Иными словами, гипотезы, основанные на ретроспективных реконструкциях, заключают больше информации, чем гипотезы, основанные на пространственной экстраполяции, и поэтому являются более эффективными при построении прогнозных моделей и решении практических задач.

Построение методологических систем важно для упорядочения геологических исследований в связи с поставленными задачами. Если дело ограничивается исследованием полезных ископаемых, то в решении наиболее простых, местных и недолговременных задач (например, оконтуривание залежи, определение рельефа какой-либо подземной поверхности и т. д.) используются наиболее простые методологические системы. В решении более сложных, региональных или глобальных долговременных задач необходимо использование сложных систем, включающих ретроспективные конструкты. Например, для поисков полезных ископаемых на большой территории и для планирования поисковых работ на несколько лет вперед никогда не обойтись без историко-геологических реконструкций и генетической концепции. При проектировании исследований и поиско-

вых работ всегда нужно иметь достаточно разработанную методологическую основу.

Сложность геологических (тектонических) исследований заключается в том, что их оказывается невозможным свести к единой системе, а множественность систем и, следовательно, большое количество их комбинаций указывает на необходимость разработки специальных методологических систем. Однако сложные методологические системы, включающие ретроспективные конструкты, оказываются необходимыми лишь при изучении осадочной оболочки, в которой запечатлена история Земли. При исследованиях строения, состава и физических полей Земли используются методы физики и химии.

Итак, в соответствии с тремя типами методологических систем тектонику можно подразделить на статическую, динамическую и историческую (ретроспективную).

Язык тектоники и проблема математизации

Состояние тектонической терминологии

О неудовлетворительном состоянии геологической терминологии известно давно. На это специально обращали внимание А. Н. Криштофович, А. Д. Архангельский, А. Н. Заварицкий, Н. С. Шатский, Н. И. Николаев и др. Н. С. Шатский, например, писал, что в области тектонической терминологии «господствует несусветный хаос» [179, стр. 65].

За этот хаос в языке тектоника однажды получила в литературе название «сумасшедшего дома» (К. Р. Лонгвелл).

В отношении состояния тектонической терминологии существует много четких высказываний крупнейших геологов. Это можно проследить на примере термина «геосинклиналь».

С. Н. Бубнов [29, стр. 97] так охарактеризовал положение с этим термином: «О понятии геосинклиналь много писалось в последние десятилетия, но ясного результата достигнуто не было. В этом отношении имеется у каждого свое представление. . . у каждого своя правда». Неопределенность понятий геосинклинали, миогеосинклинали, эвгеосинклинали, применение которых «оказалось очень затруднительным, если не невозможным для южного обрамления Средиземноморья и еще более трудным для восточных регионов», подчеркивают А. Фор-Мюрэ и Ю. Шубер [167, стр. 24] в связи с составлением тектонической карты Африки. Л. Дюбертре [69, стр. 54] пишет: «Под названием геосинклиналь подразумеваются в настоящее время складчатые системы самого различного происхождения. Это название — маска, за которой скрывается отсутствие у нас знаний». У Ж. Обуэна [122, стр. 5] читаем: «Можно констатировать почти без преувеличения, что в течение ряда лет слово «геосинклиналь» имело различные значения для каждого геолога и в настоящее время многие авторы вполне оправданно не решаются применять этот термин из опасения, что он будет неправильно понят». Ж. Гогель [53, стр. 36] отмечает, «что вряд ли следует употреблять в процессе исследования термин «геосинклиналь», в котором уже заключена априорная характеристика области, иногда еще мало изученной и по-разному рассматриваемой различными авторами».

Часто один и тот же термин употребляется в совершенно различных значениях (омонимы). Например, под термином «парагеосинклиналь» Г. Шухерт [197] понимал современные геосинклинали, М. Кэй [97] вслед за Г. Штилле — прогибы в пределах кратонов (примерно синеклизы, в понимании советских геологов); у В. В. Бе-

лоусова [14] этот термин обозначает формы промежуточного типа между платформой и геосинклиналью [синоним: полуплатформа, по Д. Г. Сапожникову, 143]. Под термином «ось складки» одни авторы понимают осевую плоскость или поверхность [119], другие — шарнир складки [19, 104, 145, 164], третьи — под осью складки понимают линию пересечения осевой поверхности с горизонтальной плоскостью или с поверхностью Земли [20, 123], четвертые — проекцию шарнира на горизонтальную плоскость или поверхность Земли [87, 169]. Все эти четыре определения имеют совершенно различный геометрический смысл.

Помимо многозначности терминов широко распространено и обратное явление — множество терминов с одним и тем же значением (синонимы). Так, в одном и том же смысле употребляются следующие термины: антеклизы [179], свод, сводовое поднятие [115], поднятие [87], субгеоантиклиналь [158].

А. Д. Архангельский и Н. С. Шатский именуют платформу по возрасту складчатости ее фундамента, а В. В. Белоусов — по возрасту чехла; в связи с этим платформа одного и того же возраста может быть названа различно. Так, Западно-Сибирская плита А. Д. Архангельским и Н. С. Шатским относится к эпигерцинской платформе, а В. В. Белоусовым — к мезозойской платформе.

Общее количество понятий и обозначающих их терминов быстро растет. В 1930 г. в советской геологической литературе использовалось 400 тектонических терминов, в 1950 г. — 2000, в 1960 г. — 4400. Экстраполяция этих данных позволяет ожидать, что к 1980 г. число терминов достигнет 30 000 [26]. В связи со сказанным становится очевидным, что упорядочение терминологии является насущной задачей.

Термины и системы понятий

Если бы недостатки существующей тектонической терминологии были бы связаны только с использованием одного и того же термина в различных смыслах, то для упорядочения терминологии достаточно было бы достичь договоренности об употреблении терминов. Предпринятые в этом направлении попытки до сих пор были неудачными.

Проблемы совершенствования терминологии значительно сложнее. Чтобы разобраться в этом вопросе, рассмотрим очень кратко соотношения между понятиями и терминами.

Понятия являются абстракциями, результатом сведения по некоторым сходным признакам множества объектов в классы. Будучи таковыми, понятия лежат в основе всех научных построений, в частности классификаций. При определении понятия происходит абстрагирование от всех несущественных для данного понятия признаков, т. е. допускается необходимая схематизация. Иногда, однако, считают, что «в погоне за призрачной точностью они (представители точных наук) в своих построениях так жестоко схематизируют при-

родные процессы, что геолог категорически отказывается видеть в этой схеме действительное геологическое явление» [16, стр. 15]. Жесткость сказывается в схематизации. В действительности же геолог, изучая явления, всегда схематизирует их, например, в виде схем магматизма, схем стратиграфии, схем тектоники, различных геологических систематизаций и классификаций. Возьмем, например, кинематическую классификацию складок В. В. Белоусова [15]. Тот, кто занимался вопросом складкообразования, вряд ли сможет увидеть в этой схеме действительное геологическое явление во всей его полноте, но, тем не менее, нельзя утверждать, что такая схематизация бесполезна, потому что для определенного класса тектонических задач она не только приемлема, но и необходима. Схематизация или, точнее сказать, абстрагирование, а еще точнее моделирование — естественный прием исследования явлений самой разной степени сложности. Ньютон, открыв закон всемирного тяготения, схематизировал сложное природное явление, превратив Землю и другие планеты в точки, наделенные определенной массой. Он, конечно, жестоко схематизировал, но это та цена, которую пришлось заплатить за открытие законов природы. Вопрос, очевидно, не в том, можно ли схематизировать, а в том, когда и как схематизировать.

Термины являются как бы символами понятий, которые должны находиться с ними во взаимно-однозначном соответствии. Понятие представляет собой смысл термина. Так, например, допустим, что термин «синеклиза» мы используем для обозначения крупных пологих синклинальных форм, характеризующихся размерами определенного порядка и значительной длительностью развития; этим термином мы называем Московскую синеклизу, Вилюйскую синеклизу, Тунгусский бассейн, Восточно-Русскую впадину, т. е. целый ряд природных объектов, которые путем обобщения объединены по одинаковым свойствам в определенный класс. Понятие об этом классе обозначается в данном случае термином «синеклиза». Естественно, что вместо термина «синеклиза» можно было условиться использовать любой другой термин.

К чему может привести применение неоднозначного термина, поясним на примере геоантиклинали. Согласно автору термина Э. Огу, это — развивающееся в процессе осадконакопления линейное поднятие на дне геосинклинального прогиба [123]; оно выделяется по фациям и мощностям осадков, однако, по М. Кэю [97], это относительно стабильная область кратона, разделяющая геосинклинали; по А. Ирдли [80] — крупная вытянутая антиклинальная складка, которая развивается в геосинклинальных отложениях, а в Словаре по геологии нефти [145] этим термином обозначается крупное горное тектоническое сооружение в виде складчатой зоны с более древними отложениями срединной (осевой) части. Нетрудно видеть, что в каждом из цитированных источников термину «геоантиклиналь» приписываются различные значения. Следовательно, если три геолога, вкладывающие различный смысл в этот термин,

будут применять его в совместной беседе, они друг друга в полной мере понимать не будут. Поскольку это касается термина «геоантиклиналь», они будут говорить на разных языках, а их дискуссия, несмотря на искреннее желание ее участников обсуждать вопрос по существу, сведется к чисто терминологическому спору, как выяснение вопроса о значении термина, приоритете его установления и т. д.

Еще большие трудности возникают при использовании многозначного термина для формулировки некоторых понятий, которые определяются через понятия, обозначенные данным многозначным термином. Например, понятие, обозначаемое термином «антиклинорий», Н. А. Штрейс [184] определил как складчатую форму геоантиклиналей. Подставляя в эту формулировку любое из трех последних значений термина «геоантиклиналь», мы получим геологические нелепости, такие, как складчатая форма стабильной области кратона, складчатая форма антиклиналей, складчатая форма горного тектонического сооружения в виде складчатой зоны. Становится очевидным, что Н. А. Штрейс в своем определении антиклинория подразумевает первое значение термина, данное Э. Огом. Такое же значение имеет термин «геоантиклиналь» в понимании Н. С. Шатского [179]. Таким образом, при неоднозначности термина, обозначающего исходное понятие (геоантиклиналь), термин, обозначающий производное понятие (антиклинорий), приобретает по меньшей мере столько же значений, сколько имеет исходный термин. Так, если термин «геоантиклиналь» в геологической литературе на русском языке имеет семь значений, то термин «антиклинорий» в определении Н. А. Штрейса также может приобретать семь значений. Учитывая же, что цитированное определение Н. А. Штрейса является одним из пяти известных на русском языке определений антиклинория и каждое из этих определений может пониматься в нескольких смыслах в соответствии с многозначностью используемых исходных терминов, становится ясным, что число значений производного термина возрастает как произведение. По мере конструирования определений все более и более сложных понятий через относительно простые понятия, многозначность терминов, обозначающих эти более сложные понятия, будет выражаться астрономическими числами. Язык же, составленный из таких терминов, будет совершенно непригоден для решения научных задач и проведения научных дискуссий. Поэтому необходимым требованием при выработке терминологии является достижение взаимно-однозначного соответствия между терминами и понятиями. Каждый термин должен выражать только одно единственное понятие; каждое понятие должно выражаться одним единственным термином.

Для того чтобы усовершенствовать терминологию (тектонический или геологический научный язык), недостаточно достигнуть взаимно-однозначного соответствия между терминами и понятиями. Необходимо разработать системы понятий. Опыт создания таких систем в геологии имеется. Однако, поскольку одни и те же явления различными исследователями на основании различных подходов и с учетом

различных данных расцениваются по-разному, появляются различные параллельные друг другу системы понятий и связанные с ними системы терминов, разработанные в соответствии с теми или иными тектоническими концепциями (например, системы терминов, применяемые в работах В. В. Белоусова, В. Е. Ханина, В. И. Попова, Л. И. Красного). Особые трудности возникают при смешении различных «автономных» терминологических систем.

Очевидно, автономные системы понятий не могут представлять собой основы для создания научного геологического (тектонического) языка. Для разработки такой системы понятий, которая могла бы стать основой научного языка, необходимо соблюдение некоторых методологических требований. Таких требований может быть указано два.

Во-первых, разработка научного языка должна быть приведена в соответствии с системным подходом в геологических исследованиях. Поскольку каждому типу геологических систем (статическим, динамическим и ретроспективным) свойственна особая природа элементов, отношений и связей, а также особые принципы и методы исследований, ему должна быть свойственна также особая система понятий, как основа языка в исследованиях данного типа геологических систем.

Во-вторых, необходимо, чтобы каждая система понятий была бы достаточно полной, непротиворечивой и выводилась бы из некоторых фундаментальных понятий, которые являлись бы исходными для определений всех производных понятий.

Возможно, для описания статических систем должны применяться термины, обозначающие геологические тела и границы (например, термины — слой, пласт, толща, система, группа, массив, типы горных пород, геологическая формация, оболочка, поверхность наслоения, поверхность несогласия, типы несогласий, складки, сбросы, типы дислокаций, платформы и геосинклинали), охарактеризованные только по составу и условиям залегания, и т. д.

В основе системы понятий, соответствующей такой совокупности терминов, лежит фундаментальное понятие о статическом геологическом пространстве. При описании статических систем не должны применяться термины, относящиеся к течению времени, последовательности во времени, событиям, процессам и эволюции. Следует всегда иметь в виду, что при описании статических систем время принимается фиксированным.

Язык статических систем предназначен для описания любой геологической структуры, любого сочетания горных пород и геологических тел, любой геологической (тектонической, геофизической) карты, изображающей их расположение. Такое пространственное описание используется не только для собственно статических систем, но также в качестве основы при характеристике динамических и ретроспективных систем. Поэтому язык, применяемый для описания статических систем, может рассматриваться как основной язык геологической науки и, в частности, тектоники.

При описании динамических систем в зависимости от характера геологических процессов в качестве дополнительных языков применяются языки механики, физики или химии.

При описании ретроспективных систем к основному геологическому языку добавляется система понятий, необходимая для описания реконструированных геологических событий и их последовательности во времени (термины: эра, эпоха, век, время, стадия, этап, цикл, фаза, древний, ранний и т. д.). Для описания реконструированных процессов (прогибание, поднятие, дрейф материков, конвекционные течения, гранитизация, доломитизация, выветривание, генезис, плавление и т. д.) привлекаются языки механики, физики и химии (табл. 2).

Таблица 2

Особенности геологического языка,
применяемого в исследованиях различных систем

	Язык статических систем (основной геологический язык)	Язык динамических систем	Язык ретроспективных систем
Фундаментальные понятия	Фундаментальные тектонические понятия: статическое геологическое пространство, тело, граница, структура	Основной геологический язык. Язык механики, физики, химии	Основной геологический язык. Язык статических и динамических систем (для ретроспективных реконструкций)
Описание конкретных объектов, их свойств и отношений	Конкретные тела и границы: слой, пласт, складка, рудное тело, оболочка, поверхности наложения и несогласия, разлом, тектонические контакты и т. д. Свойства: петрографический состав, физические свойства и т. д. Отношения: порядка, включения, сходства. Хроностратиграфические и фациальные подразделения, понимаемые как геологические тела (системы, ярусы, фациальные зоны)	Геологические процессы: образование, разрушение, изменение, перемещение геологических тел, в частности залежей полезных ископаемых. Отношение процессов (размылов и поднятий, складкообразования и образования разрывов). Свойства процессов (скорость, интенсивность, длительность и т. д.)	Реконструированные события (например, палеогеографическая обстановка) и процессы, их свойства и отношения
Описание геологической истории	—	—	Описание геологического времени и геохронологической шкалы

Разработка научного языка — системы терминов, основанной на формализованной системе понятий, — является основой применения математики для решения различных задач, связанных с выделением, описанием, сравнением и классификацией геологических объектов.

Применение математических методов в геологии

Развитие и становление любой естественной науки начинается с наблюдения, описания, систематизации. В первоначальный этап развития науки выясняются связи между явлениями, устанавливаются качественные зависимости между ними. Это так называемый эмпирический уровень развития науки. В геологии он охватывает вторую половину XIX в. и начало XX в. [180].

Следующий этап развития науки связан с переходом к выяснению точных количественных соотношений. Этот новый «теоретический» уровень развития науки невозможен без математики. Недаром К. Маркс отмечал, что «наука только тогда достигает совершенства, когда ей удается пользоваться математикой» [98, стр. 10].

Интенсивное применение количественных методов в описании геологических процессов, вернее их результатов, является характерной чертой геологии XX в.

По Н. С. Шатскому, это — «новейший современный период в истории геологической науки, начало которого удобно отнести к 1911 году, когда был опубликован последний том классического труда Э. Ога» [179, т. IV, стр. 45].

Если до 1911 г. на русском языке не было опубликовано ни одной работы, а на иностранных языках (английском, немецком) всего пять работ, в которых используются простейшие приемы статистической обработки эмпирических данных, то после 1911 г. применение количественных методов (статистических и вероятностных) становится более интенсивным.

В настоящее время проблема состоит уже не в том, чтобы утвердить гражданство количественных методов описания, а в том, как их развивать, чтобы в кратчайший срок получить обнадеживающие результаты по фундаментальным задачам геологии. В этой связи остановимся на двух основных направлениях математизации геологии.

Первое направление математизации геологии основывается на существующих традиционных теоретических представлениях геологии и сводится к решению отдельных конкретных геологических задач. Исторически сложилось так, что на протяжении более 100 лет здесь вероятно-статистические методы занимали главенствующее положение. Сначала использовались простейшие статистические приемы, а потом весь арсенал вероятно-статистических методов. Это направление в математизации геологии окончательно узаконилось на XXIII сессии Международного геологического конгресса (Прага, август 1968 г.) и Европейской сессии Международного статистического института (Амстердам, сентябрь 1968 г.), где впервые был

поставлен вопрос о математизации геологии и об организации Международной ассоциации математической геологии (МАМГ) — органа, направляющего развитие по применению вероятностно-статистических методов в геологии во всемирном масштабе. Это направление известно под названием математической геологии, задачей которой является получение полной и точной информации из геологических данных. При решении частных геологических задач находят применение также аналитический, геометрический и другие методы математики.

Второе направление математизации геологии основывается на формализации основных геологических понятий и построении их систем. Для этого, в частности, разрабатываются основные геологические понятия, такие, как геологическая граница, геологическое тело, вещественные ассоциации, геологическое пространство, геологическая структура.

В табл. 3 по вертикали расположены некоторые основные группы тектонических (геологических) задач, а по горизонтали — математические методы, применяемые для их описания. Охарактеризуем таблицу примерами применения математических методов.

Таблица 3

**Применение математических методов
к решению некоторых тектонических (геологических) задач**

Группа тектонических (геологических) задач	Математические методы				
	вероятностно-статистический	аналитический	дискретный	геометрический	логический
Выделение геологических границ и геологических тел	+		+	+	
Описание формы геологических границ	+	+	+	+	
Описание геологических тел	+	+	+	+	
Описание геологических структур	+		+	+	+
Описание современных тектонических движений	+	+		+	

1. Выделение геологических границ и геологических тел. С этой целью вероятностно-статистические методы использовались Д. А. Родионовым [139], который применил аппарат многомерной статистики к расчленению ряда геологических объектов на однородные участки, в частности он провел расчленение кампанских и маастрихтских отложений Русской платформы по комплексу фораминифер, кор выветривания Орской области по содержанию отдельных химических элементов. А. Б. Вистелиусом [41] проводилось расчленение красноватых толщ п-ова Челекен путем построения кривых песчаности, определения их устойчивости, выяснения функции распреде-

ления вероятностей мощностей слоев, характера их чередования и корреляции разрезов на основании функции распределения мощностей слоев.

Геометрический метод объединяет обширную группу графического представления объектов в виде изолиний — изопакит, стратоизогипс, изогон, изодинам, изогамм и т. д. Этот метод служит для выделения условных геологических тел второго типа, таких, как антиклинальные и синклинальные складки, аномальные (гравитационные и магнитные аномалии), а также дизъюнктивных и других геологических границ.

2. Описание формы геологических границ. Примером применения вероятностно-статистического метода к описанию поверхностей служит широко известная в общей геологии и геоморфологии гипсографическая кривая, которая отражает вероятность встречаемости апликат (высоты суши, глубины океана) различных значений. Ряд работ посвящен статистическому описанию соотношений структурных поверхностей различных стратиграфических горизонтов [32 и др.].

Основой аналитического метода описания формы геологических границ является представление пликативных форм в виде уравнений или систем уравнений. Для описания пликативных форм используют или уравнения первого порядка [49] или поверхности аппроксимируют экспоненциальными функциями [11, 42], гипсометрическими уравнениями, ортогональными и неортогональными полиномами [131], тригонометрическими функциями [49] и т. д.

Дискретный подход заключается в выделении элементарных структурных форм (антиклинали, синклинали, купола, своды, чаши и т. д.), характеристике каждой элементарной формы определенным списком признаков (например, знак, ориентация, размер, координаты центра масс, кривизна, наклоны крыльев, отношение диаметров, амплитуда и др.), составлении на этой основе матрицы, строки которой соответствовали бы конкретным элементарным структурным формам, нахождения меры сходства и классификации элементарных структурных форм [46].

Геометрический метод описания геологических границ (структурных поверхностей) является в геологии наиболее распространенным. Он заключается в описании поверхностей (карты стратоизогипс, карты схождения).

3. Описание геологических тел. Вероятностно-статистический метод применяется для описания состава геологических тел. Описание состава сводится обычно к выяснению закономерностей распределения одного (одновременная статистика) или многих (многомерная статистика) признаков. В качестве признаков здесь обычно выбирают содержания элементов, окислов или других химических соединений, а также минералов, зерен различной крупности и формы. В качестве аналитического описания состава геологического тела можно привести закон плотностей, устанавливающий функциональное изменение плотности вещества с глубиной в пределах земного шара [109].

4. Описание геологических структур. Вероятностно-статистический метод применяется при изучении трещиноватости, а также при исследовании геологической структуры по ориентировкам минералов. Результаты выражаются обычно в виде диаграмм роз, структурных диаграмм [129, 133, 166]. Намечена лишь принципиальная возможность использования дискретного метода. Опыт применения дискретных геометрических и логических методов пока очень небольшой. Значительный прогресс достигнут в логическом описании слоистой структуры [44, 45].

5. Описание современных тектонических движений (один из примеров динамической системы). Поскольку в исследованиях динамических систем (геологических процессов, в частности геологических движений) используются принципы физики, химии и механики, то естественно, что в решении геологических задач применительно к динамическим системам используется наиболее характерный для этих наук аналитический метод математики.

Геометрический метод описания тектонических движений находит выражение в картах изоанабаз, изокатабаз, картах скоростей современных тектонических движений, картах градиента вертикальной составляющей, скорости современных тектонических движений, в графиках скорости движения по линии точной нивелировки и т. д.

Применение математики при исследовании ретроспективных систем несколько своеобразно. Дело в том, что элементы, отношения и связи в ретроспективных системах никогда непосредственно не наблюдаются и, следовательно, в принципе не могут быть измерены. Элементы, отношения и связи здесь всегда являются реконструированными на основании аналогии с динамическими и статическими системами. Естественно поэтому, что для исследования ретроспективных систем по аналогии переносятся те же математические методы, которые используются для исследования статических и динамических систем. Только если в математических построениях, касающихся статических и динамических систем, исходными являются данные, наблюдаемые и измеряемые в природе, то при исследовании ретроспективных систем исходными данными являются лишь высказывания по аналогии.

В соответствии с изложенными выше соображениями о системном подходе в геологических исследованиях, о свойственных каждому типу систем специфических принципах и методах исследования следует, что применение математики также необходимо связывать с системным подходом. Исследователь, применяющий тот или иной математический метод, должен отдавать себе отчет в том, какую именно систему он исследует.

Согласно высказанным предложениям о построении научного языка на основе разработки фундаментальных понятий и их системности следует считать также, что применение математических методов

должно иметь твердую основу в геологическом языке. Понятия, которые кладутся в основу математического исследования, должны быть формализованы; они не могут быть расплывчатыми или двусмысленными.

Наконец, сделанный обзор применения математических методов в геологии показывает, что вряд ли при решении той или иной геологической задачи следует ограничиваться каким-либо одним математическим методом. Методы эти несомненно могут дополнять друг друга, и поэтому следует использовать их рациональный комплекс, т. е. идти по пути широкого применения математики.

Прежде чем начинать применять какой-либо математический метод, необходимо сначала уяснить условия его применения. Таким необходимым условием является соответствие принципам того языка, на котором эти методы изложены, принципов языка той науки, в которой хотят применять метод.

Статические системы

Геологическое пространство

Понятие о геологическом пространстве лежит в основе исследования пространственных распределений свойств вещества в осадочной оболочке, выделения и описания геологических тел, изучения их пространственных соотношений, их сравнения и классификаций. Все перечисленные исследования и построения ведутся в той части пространства, которая занята осадочной оболочкой Земли. Геологу приходится иметь дело с распределением свойств вещества в пределах Земли в целом или любой ее части (геологическое пространство). Все исследования и построения статической геологии ведутся в геоцентрических координатах, инвариантных относительно вращения Земли и ее движения по орбите.

Понятие о геологическом пространстве не ново. Еще В. И. Вернадский писал о физико-химическом пространстве планеты. Представления В. И. Вернадского были развиты Ю. П. Трусовым, именовавшим физико-химическое пространство В. И. Вернадского геохимическим пространством, «точками» которого являются земные атомы. «Геохимическое пространство, — пишет он, — есть не что иное, как пространство планеты и прежде всего ее коры, рассматриваемое на уровне атомов» [161, стр. 241]. Можно рассматривать пространство планеты на уровне более мелких единиц — элементарных частиц. «Можно, наоборот, связывать элементы пространства планеты с геологическими образованиями, много более крупными, чем атомы: минералами, горными породами, геосферами и т. д.» [161, стр. 241]. Наряду с геохимическим пространством Ю. П. Трусов различает и геологическое пространство, взятое на том или ином более крупном уровне.

Понятие «геологическое пространство» здесь принимается как более широкое, включающее все земные «пространства».

Поскольку в статических системах геологическое пространство рассматривается в фиксированный момент времени, то оно может быть названо статическим геологическим пространством. Оно может быть представлено бесконечным количеством точек, в каждой из которых в принципе может быть изучено весьма большое количество свойств вещества, заполняющего это пространство. В связи с узкой специализацией исследований геохимик, например, укажет весьма большое количество химических свойств, изучение которых может его интересовать в зависимости от поставленных задач. Не меньшее количество свойств назовут петрографы,

геофизики, палеонтологи и т. д. При изучении распределения того или иного свойства следует определить или измерить его значение в каждой точке с некоторой точностью, а для этого надо располагать способом такого определения или измерения. Пространство, в каждой точке которого определяется весьма большое количество свойств, является неконструктивным — в нем нельзя проводить построения.

Поэтому, во-первых, по причинам доступности и целесообразности ограничивается количество точек, в которых измеряют значения свойств. Например, при составлении геологической карты наблюдения обычно проводятся в отдельных обнажениях, а в закрытых участках — в ограниченном числе выработок (шурфов, скважин). Только в сравнительно редких случаях возможно непрерывное прослеживание пластов, даек и т. д., но и тогда наблюдения над данным пластом или дайкой, например фиксирование мощности, описание петрографического состава, отбор проб для химических анализов, сборы фауны и т. д., проводятся лишь в выбранных точках. При изучении геофизических полей, например, посредством аэромагнитных съемок проводятся не сплошные наблюдения, а наблюдения вдоль профилей, расстояния между которыми выбираются в зависимости от масштаба и задач исследования. Для разведки нефтяной или газовой залежи бурится ограниченное число разведочных скважин, расстояния между которыми измеряются обычно сотнями метров или километрами. Выбор этих расстояний определяется геологическими особенностями разведываемых залежей и в значительной степени соображениями экономического порядка. В результате ограничения количества точек наблюдения мы можем представить себе изучаемое геологическое пространство как конечное множество точек.

Во-вторых, в процессе исследования не может быть изучена и никогда не изучается вся совокупность мыслимых свойств вещества в каждой точке, принадлежащей этому множеству. При биостратиграфических исследованиях, например, изучается только распространение остатков фауны и флоры: при более специализированных исследованиях палеонтолог может ограничиваться рассмотрением только какой-либо одной разновидности фауны или флоры. Сейсмолог, тщательно исследуя упругие свойства, не уделяет внимания распределению органических остатков, химическому составу и т. д. Таким образом, при изучении геологического пространства исследователь абстрагируется от всех свойств, кроме тех, которые составляют предмет его исследования, что является необходимой предпосылкой для раскрытия закономерностей и получения научных выводов.

В итоге такого абстрагирования геологическое пространство может быть представлено как конечное множество точек, каждая из которых охарактеризована лишь некоторой определенной конечной совокупностью независимо измеряемых свойств. Здесь важно подчеркнуть требования определенности этой совокупности, так как измерение различных совокупностей свойств в различных точках пространства делает его неконструктивным. Так, например, нельзя про-

водить геологические построения в пространстве, для одних точек которого указана электропроводность, для других — фракционный состав песков, для третьих — содержание изотопов и т. д. или же если какие-либо свойства измерены с различной точностью.

Рассмотрим некоторую точку, принадлежащую статическому геологическому пространству, и некоторую конечную совокупность независимо измеряемых свойств. Если в точке измерены значения всех свойств рассматриваемой совокупности, указаны способы измерения этих свойств и точность их измерения, то рассматриваемую точку будем называть **формальной точкой** статического геологического пространства. Точнее, такую точку следует определять как формальную точку статического геологического пространства по заданной совокупности свойств с учетом набора конкретных процедур измерения каждого входящего в эту совокупность свойства и конкретной точности измерения каждого из этих свойств. Заметим, что значения свойств, характеризующие формальную точку, не могут определяться как «возможные», «предполагаемые» и «вероятные». Такие определения значений свойств субъективны и не поддаются проверке. Поэтому они не могут служить основанием для разделения пространства, определения положения геологических границ и тел, а следовательно, для определения геологической структуры.

Приведем пример выделения геологических тел по субъективно определяемым значениям свойств: «Под именем геосинклинальных областей разумеются такие участки земной коры, которым свойственна особенно сильная и многообразная подвижность. Колебательные, вертикальные движения, обычно называемые эпейрогеническими, в этих областях имеют относительно очень большую скорость и амплитуду. Поднятия и опускания всей области сопровождаются раздроблением последней на отдельные глыбы, движущиеся с весьма различной быстротой и иногда в различных направлениях. Эти различия в движениях отдельных участков имеют следствием распадаения геосинклинальных областей на ряд впадин (геосинклиналей) и поднятых глыб (геоантиклиналей), что обуславливает возникновение резко выраженного рельефа поверхности, который является характерным для геосинклинальных областей. . . Геосинклинальным областям, далее, свойственно весьма широкое развитие магматизма, проявляющегося как в эффузивной, так и в интрузивной формах. В связи с наличием резко выраженного рельефа отложение осадков во впадинах. . . совершается особенно интенсивно и здесь накапливаются особенно мощные толщи осадочных пород» [5, стр. 285].

Такие определения значений, как «особенно сильная и многообразная», «относительно очень большая», «весьма различная быстрота», «резко выраженный рельеф», «весьма широкое развитие вулканизма», «особенно интенсивно», «особенно мощные», могут приниматься субъективно и различно, вследствие чего само понятие геосинклинальной области становится расплывчатым.

Приведенное определение геосинклинальной области относится к 1937 г. и признается классическим. Однако вследствие своей край-

ней неопределенности оно оказалось весьма неустойчивым. Так, впоследствии неоднократно отмечалось наличие не менее резко выраженного рельефа в негеосинклинальных областях (активизированные платформы), весьма интенсивное накопление осадков на древних платформах (Прикаспийская впадина), весьма широкое развитие вулканизма на платформах (Тунгусская синеклиза) при почти полном его отсутствии в некоторых геосинклиналях (миогеосинклиналях). Все это указывает, что геосинклинальные области в упомянутой работе выделялись по субъективно подобранным признакам, значения которых не были достаточно определены.

Несколько слов о точности измерения свойств. Условимся под точностью понимать количество значений, которое может принимать каждое измеряемое свойство. При измерении свойств с точностью до 0,1% величина точности будет 1000, если до 1%, то 100, если «да» — «нет» или «более 50%» — «менее 50%», то 2. Значения свойств могут быть качественными. Например, если свойство — это петрографический состав, который можно выразить названием типа породы, то количество типов пород, входящее в их классификацию, принимаемую для описания пространства, и будет представлять собой точность определения. Точность определения качественных значений свойств будет зависеть от детальности классификаций этих свойств. Палеонтологические признаки также принимают исключительно качественные значения, которые могут соответствовать определенным разновидностям фауны или флоры, остатки которых содержатся в породе, или же некоторым ассоциациям таких остатков. В последнем случае перед исследователем большая свобода выбора признаков, так как ассоциации могут быть организованы весьма различным образом.

Возможность определения значений свойств вещества в точке, поскольку точка имеет нуль измерений и лишена объема, является несколько условной. Однако, взяв точку M в качестве центра, можно построить сферу радиуса E , которую можно в среднем охарактеризовать значениями различных свойств. Значения этих свойств можно приписать самой точке M . В этом смысле можно говорить, что в каждой формальной точке определены значения свойств данной совокупности.

Отметим, что значения свойств или характеристик этих свойств (например, их производных) можно определить не только для точек, образующих формальное пространство, но и для выделенных в этом пространстве тел (например, такие свойства, как плотность, температура, литологический состав и т. д.). Существует, однако, группа свойств, которые имеют смысл только для тел. К ним относятся, например, форма тел, их структура, принадлежность к тем или иным вещественным ассоциациям.

Множество формальных точек мы будем называть **формальным статическим геологическим пространством** по заданной совокупности свойств. Подчеркнем еще раз, что формальное пространство является научной абстракцией, построенной в соответствии с задачами и масштабом исследований, и

что в пределах рассматриваемого неформального геологического пространства может быть построено как угодно много формальных пространств. Кроме того, формальное пространство строится на некотором фиксированном объеме фактических данных, добытых в результате исследований. При получении новых данных должна быть создана новая научная абстракция, учитывающая эти данные.

Построения в пространстве, формализованном по обширной совокупности свойств, могут встретить значительные трудности, так как распределение значений различных свойств вещества в таком пространстве может быть независимым. Например, значения биостратиграфических свойств могут быть распределены совершенно иначе, чем значения литологических свойств, а значения этих обоих свойств иначе, чем значения одного из физических свойств, и т. д.

Формальные статические пространства могут быть специализированы по такой совокупности свойств, которая изучается при специальном исследовании. Например, специалисты в области биостратиграфии изучают распределение в геологическом пространстве остатков ископаемых организмов, причем содержание этих остатков выступает как свойство вещества. На основании распределения этих остатков выделяются геологические границы (границы биостратиграфических подразделений) и тела (например, биозоны), а также производятся другие геологические построения. При литологических исследованиях точки пространства характеризуются петрографическими свойствами — крупностью зерна, минералогическим составом и т. д., при геохимических — изучается распределение элементов, соединений, изотопов и т. д. В перечисленных случаях мы имеем дело со специализированными формальными статическими геологическими пространствами — биостратиграфическим, петрографическим и геохимическим.

Таким образом, пространства, формализованные по различным свойствам, исследуются различными геологическими методами — биостратиграфическим, литологическим, гравиметрическим, сейсмологическим и т. д. При исследовании каждого специализированного пространства мы абстрагируемся от всех посторонних ему свойств. Выяснение же природных геологических закономерностей, т. е. закономерностей строения и развития Земли в зависимости от поставленных задач, может потребовать исследования любой совокупности свойств геологического пространства. Поэтому существенно, чтобы исследования, проводимые различными методами, объединялись общими научными геологическими задачами, имели общую цель — в этом сущность постановки комплексных исследований.

Частным случаем специализированного пространства является пространство, формализованное по какому-либо одному определенному свойству, т. е. элементарное формальное статическое геологическое пространство. Примером могут служить пространства, точки которых охарактеризованы только плотностями, только температурами, только содержанием ка-

кого-либо элемента или соединения, только наименованием горной породы из списка наименований, которые считаются значениями петрографических свойств, и т. д.

Использование элементарных пространств существенно для разбиения и элементаризации геологического пространства. Отсюда вытекает, что при исследовании различных специализированных пространств необходимо сведение их в геологические пространства, формализованные по более широкой совокупности свойств. Для этого важно ввести понятия о теоретическом формальном статическом геологическом пространстве, которому можно приписать любую специализацию по совокупности свойств. Такое пространство позволяет выработать основные процедуры выделения, описания и сопоставления геологических границ и тел, а также общий язык для построений при различных направлениях геологических (геофизических, геохимических) исследований и рассматривать общие вопросы интерпретации одного специализированного пространства на языке другого.

Хотя формальные пространства представлены как конечные множества точек, реальное геологическое пространство, с которым мы имеем дело, является непрерывным, т. е. содержит бесконечное множество точек. При решении той или иной практической или научной задачи нам иногда необходимо знать, какие значения приобретают свойства вещества в любой точке, вне зависимости от того, входит она или не входит в то конечное множество точек, которым ограничиваются сделанные наблюдения. Такие пространства, в которых значения свойств определены только для некоторых точек, т. е. все те пространства, которые мы строим непосредственно по данным наблюдений (измерений), будем называть **неполноопределенными формальными статическими геологическими пространствами**. Примерами изображения неполноопределенного пространства могут служить карты фактического материала, прилагаемые к отчетам по геологической съемке, карты расположения пунктов геофизических наблюдений с указанием значений измеряемых свойств и т. д.

Неполноопределенное пространство используется для построения модели непрерывного геологического пространства, в которой значения свойств определены (например, путем интерполяции и экстраполяции) для каждой точки. В такой модели, называемой также **полноопределенным пространством**, могут быть проведены границы и определена структура. Переход от неполноопределенного к полноопределенному пространству будем называть построением модели геологического пространства. Важно подчеркнуть, что по одному и тому же неполноопределенному пространству в зависимости от принятых процедур интерполяции и экстраполяции могут быть получены различные модели, находящиеся в различных соответствиях с изучаемым реальным пространством. Примером модели может служить любая геологическая карта или геологический разрез. На основании одних и тех же данных карты или разрезы

могут быть построены в разных вариантах в зависимости от методики построения и принятой рабочей гипотезы.

При построении модели необходимо учитывать исследовательские и практические задачи, для которых модель строится. В отношении геологических карт это может найти отражение в масштабе, легенде и т. д. Всякая модель является лишь приближенным отражением реального геологического пространства, поэтому способы построения модели следует выбирать таким образом, чтобы ее соответствие с реальным пространством было бы наибольшим. Кроме того, следует принимать во внимание, что неполноопределенное геологическое пространство может быть охарактеризовано неоднородными данными, т. е. оказаться гетерогенным по свойствам, по масштабам измерения свойств. При этом построение модели значительно осложняется. Возникает необходимость приведения исходного неполноопределенного пространства к гомогенному виду, выравнивания списка свойств, выравнивания точности измерений свойств.

Мы можем говорить не только о трехмерном, но также и о двумерном формальном пространстве в том случае, если формальные точки, входящие в рассматриваемое множество, распределены по некоторой поверхности. Такой поверхностью может быть, например, поверхность Земли, поверхность размыва в толще отложений, поверхность напластования и т. д. Построения в двумерном пространстве не будут выходить за пределы соответствующей ему поверхности. К подобного рода построениям может относиться составление различного рода карт для таких поверхностей. Если формальные точки, входящие в рассматриваемое множество, распределены вдоль некоторой линии, например вдоль оси скважины, то можно говорить об одномерном геологическом пространстве. К двумерным и одномерным геологическим пространствам полностью относятся понятия о специализированных, а также неполноопределенных и полноопределенных пространствах. Построения в двумерном и одномерном геологических пространствах, заключающиеся в построении карт различных поверхностей, профильных и колонковых разрезов, обычно используются для построения моделей трехмерного геологического пространства.

Построения в статическом пространстве осуществляются с непосредственным использованием признаков (или совокупностей признаков) определенной специализации. В этом заключается принцип специализации. Признаки других специализаций могут рассматриваться при этом только как косвенные признаки или признаки признаков основной специализации. Для того чтобы использовать в геологических построениях данной специализации косвенные признаки, необходимо установить их корреляционные отношения с основными признаками (корреляция признаков разных специализаций). На основе корреляции признаков двух специализаций можно также решать задачи, связанные с истолкованием (интерпретацией) пространства одной специализации на языке другой специализации.

ции (например, геологическая интерпретация геофизических данных).

Таким образом, для одного и того же реального геологического пространства возможно построить несколько специализированных моделей и, установив их корреляционные отношения, проводить корректирование одной модели по другой или построение по модели одной специализации модели другой специализации.

Сказанное о геологическом пространстве и его формализации может быть, на первый взгляд, воспринято как рассуждения, лишённые какого-либо практического смысла. Действительно, во всех наших исследованиях мы пока благополучно обходились без каких-либо представлений о геологическом пространстве. Однако оказывается, что без введения формальных представлений о геологическом пространстве невозможно в избранной нами системе строго определять понятия о геологических границах, телах и структурах; иными словами, представление о геологическом пространстве выступает как основа структурных построений.

Такие построения, как составление геологических (тектонических, геофизических, геохимических) карт и разрезов, связаны с выделением в статическом геологическом пространстве различных поверхностей, называемых геологическими границами, а также геологических тел, ограниченных этими границами.

Геологические границы

Геологические границы можно видеть на местности и изображать на геологических (геофизических) и иных картах, профильных разрезах и колонках. Определений геологических границ, являющихся основой всех пространственных геологических построений, нельзя, однако, встретить в геологических словарях и учебниках. Считается, по-видимому, что вопрос о геологических границах настолько ясен, что не требует ни разъяснений, ни специального анализа.

Вместе с тем геологические границы заслуживают самого серьёзного внимания. Действительно, пусть нашей задачей является оценка залежи полезного ископаемого. Для того чтобы оценить эту залежь, необходимо ее описать (например, с точки зрения распределения в ней интересующего нас минерала). Мы, естественно, не можем описывать распределение содержания вообще; необходимо иметь представление об объекте, который мы описываем. Короче говоря, чтобы описать залежь, надо знать ее пределы, т. е. необходимо выделить ее в качестве геологического тела. Для того же, чтобы выделить геологическое тело, надо указать его границы.

В колонке скважины мы проводим геологические границы между выделяемыми в ней толщами (горизонтами, свитами и т. д.), представленными отрезками прямой. Границы в этом случае изображаются в виде точек. Поскольку колонка представляет собой одномерное

геологическое пространство, а граница — вообще не имеет измерения, мерность границы на единицу меньше, чем мерность пространства. Такое же соотношение вытекает из рассмотрения геологической карты (поверхности или двумерное пространство) и границ на ней (линии или одномерные тела), а также объемных геологических моделей и граничных поверхностей в них. В общем, мерность границы всегда на единицу меньше, чем мерность пространства, в котором проведена эта граница.

В колонке скважины, на геологической (геофизической) карте или в объемной модели границу можно провести по некоторым определенным признакам. Так, ее можно выделять по смене фауны (например, граница между био зонами), по смене литологического (петрографического) состава (например, граница между карбонатной и терригенной формациями или граница между гранитами и вмещающими осадочными породами), по изменениям скоростей прохождения упругих волн (граница Мохоровичича и другие сейсмические границы), по изменению плотностей, температур, содержаниям рудного элемента и т. д.

Иными словами, к геологическим границам, так же как и к геологическому пространству, применим принцип специализации. Геологические границы являются специализированными по тому свойству или списку свойств, по которому они выделены. Специализация границы называется ее геологической природой. Можно говорить о границах литологической, биостратиграфической («биологической»), сейсмологической и иной природы. Границы различной геологической природы могут пересекаться.

Не только мерность и природа определяют разнообразие геологических границ, они проводятся по-разному, т. е. разными способами. Посмотрим на обычную геологическую карту крупного масштаба. Мы увидим там, во-первых, границы, проведенные по резкой смене петрографического (литологического) состава. Таковы границы массивов различных изверженных пород, отделяющие их от вмещающих осадочных или осадочно-вулканогенных толщ. На некоторых геологических картах можно различать границы, основанные на геометрических свойствах геологических тел, например изолинии (изогипсы, изопакиты и др.), отделяющие участки пространства с различными геометрическими характеристиками данных границ. Таким образом, существуют различные типы границ по способам их выделения.

Одни границы существуют в природе сами по себе, и наше дело — найти их и проследить; другие — хотя и обусловлены распределением вещества в пространстве, но положение их зависит от наших построений, т. е. некоторой (или некоторых) применяемой процедуры. Наконец, есть границы, не зависящие от распределения вещества в геологическом пространстве. Следовательно, границы различаются по их мерности, геологической природе и процедуре их выделения. По мерности выделяются три разновидности, по геологической природе — сколько угодно, а по процедурам выделения — шесть.

Геологическая граница — это любая поверхность (линия, точка), проведенная в геологическом пространстве в результате некоторой однозначной процедуры.

Можно различать шесть типов геологических границ: резкостные, дизъюнктивные, условные первого, второго и третьего типов и произвольные (табл. 4):

Таблица 4

Типы геологических границ

Полностью определяемые по распределению значений свойств вещества в геологическом пространстве		Зависимые от распределения значений свойств вещества в геологическом пространстве и от процедуры выделения			Независимые от распределения значений свойств вещества в геологическом пространстве
Резкостные	Дизъюнктивные	Условные			Произвольные
		первого типа	второго типа	третьего типа	
<p>Большинство границ площадного распространения — интрузивных, а также эффузивных пород. Границы угленосных толщ. Границы между слоями с различными комплексами фауны и различного литологического состава</p>	<p>Тектонические контакты и разломы</p>	<p>Изолинии плотности чехла Русской платформы</p>	<p>Изогипсы поверхностного кристаллического фундамента Русской платформы и палеозойского фундамента Западно-Сибирской плиты</p>	<p>Границы континентальных отложений, границы между генетическими типами четвертичных отложений. Все хроностратиграфические границы</p>	<p>На картах не выделяются</p>

1) к резкостным границам относятся «очевидные» границы, называемые также естественными. Это те границы, которые наблюдаются (или различаются) по резкой смене значений признаков или их характеристик, в том числе по резкой смене физических (геофизических) свойств вещества петрографической структуры породы и т. д. Резкостные границы полностью определяются распределением значений свойств вещества в геологическом пространстве;

2) дизъюнктивными границами называются границы, связанные с разрывами сплошности геологического пространства. Эти границы могут комбинироваться с резкостными границами, а также с услов-

ными границами первого, второго и третьего типов, составляя вместе с ними нарушенные границы соответствующего типа (например, нарушенные резкостные границы, нарушенные условные границы первого типа и т. д.);

3) условные границы первого типа зависят от распределения значений свойств вещества в пространстве, но положение этих границ зависит и от той процедуры, которую мы применяем, чтобы с учетом распределения свойств провести эту границу;

4) для выделения условной границы второго типа, положение которой также зависит от распределения значений свойств вещества в пространстве, требуется применение, по крайней мере, двух процедур [например: а) выделение геологической границы, б) нахождение на ней точек со сходными геометрическими характеристиками, образующих условную границу второго типа];

5) условные границы третьего типа еще более опосредованы. Положение этих границ также зависит от распределения значений свойств вещества в пространстве. Но здесь эти свойства истолковываются при помощи ретроспективных реконструкций, что предполагает использование динамических систем и гипотез в соответствии с принципом актуализма;

6) произвольные границы не связаны с распределением вещества; их положение в пространстве зависит только от наших задач, обусловленных соображениями удобства, экономической целесообразности и т. д.

Остановимся на характеристике границ различных типов.

1. Резкостные границы представляют собой поверхности (линии, точки), при переходе через которые резко изменяются значения отдельных свойств или производных от этих свойств, по которым формализовано пространство. Примерами резкостной границы могут служить: а) поверхность напластования, разделяющая два слоя различного литологического состава, при переходе через нее резко изменяются литологические свойства (признаки); б) поверхность между биофонами, при переходе через которую происходит смена того или иного комплекса ископаемой фауны или флоры.

Резкостные границы могут выделяться на основе разнообразных свойств или производных от этих свойств — характеристик: литологических (зернистость, цемент, текстура, содержание или состав той или иной фракции, отсутствие или наличие, а также тип конкреций или желваков, цвет и т. д.), палеонтологических (наличие или отсутствие остатков тех или иных родов и видов моллюсков, рыб, фораминифер, спор и т. д.), минералогических (структура, физические свойства минералов и т. д.), физических (плотность, пористость, проницаемость, скорость распространения упругих волн, электропроводность, температура, магнитная восприимчивость и т. д.), химических (химический, изотопный состав). Таким образом, резкостные геологические границы проводятся в пространстве, формализованном по некоторой определенной совокупности свойств, т. е. в любом формальном статическом геологическом пространстве (спе-

циализированном, элементарном, а в общем случае и теоретическом), где можно найти поверхность (линию, точку), при переходе через которую резко меняются хотя бы некоторые из тех свойств, по которым пространство формализовано.

Резкостная граница — это поверхность, при переходе через которую терпят разрыв непрерывности некоторые характеристики, притом одни и те же во всех точках этой поверхности, и вдоль которой остаются непрерывными, по крайней мере с одной стороны, хотя бы те характеристики, которые терпят разрыв при переходе через эту поверхность.

Требование: «во всех точках этой поверхности. . .» связано с необходимостью фиксировать геометрию границы, требование: «. . . притом одни и те же. . .» связано с необходимостью фиксировать геологическую природу границы, требование: «. . .вдоль которой остаются непрерывными, по крайней мере с одной стороны. . .» связано с необходимостью связать границу с телом.

Системой резкостных границ называется совокупность границ, имеющих одну и ту же геологическую природу.

В пространстве, формализованном по одному свойству, может существовать только одна система резкостных границ. Если же пространство формализовано по двум свойствам, то в нем могут существовать три различные системы резкостных границ. В общем случае, когда учитывается p свойств, может существовать $2^p - 1$ различных систем резкостных границ. Естественно, чем их больше, тем сложнее структурные построения. Грубо можно считать, что сложность структурных построений растет как 2^p , где p — число учитываемых свойств. Обычно в структурных построениях используется одна система резкостных границ, как, например, на большинстве геологических карт и профильных разрезов. На геолого-литологических картах и разрезах обычно используются три различные системы резкостных границ. Примером построения с тремя системами границ служат также геологические карты и профильные разрезы с нанесением границ нефтяных, газовых или иных залежей.

В связи с возможностью существования в исследуемом пространстве нескольких систем резкостных границ и имея в виду согласованное построение границ различных систем, введем понятия о согласных и взаимно согласных характеристиках. Будем считать, что первая характеристика согласуется со второй, если во всех точках, где терпит разрыв непрерывности первая характеристика, обязательно терпит разрыв непрерывности и вторая. Однако обратная зависимость необязательна. Так, например, для некоторых районов при выборе методов исследования может быть установлено, что любая плотностная граница обязательно соответствует литологической границе, но не любая литологическая граница соответствует плотностной. В этом случае можно сказать, что плотностные характеристики согласны с литологическими.

Две характеристики будут взаимно согласными, если первая характеристика согласна со второй, а вторая согласна с первой. Могут

быть взаимно согласны, например, петрографическая и химическая характеристики, литологическая характеристика и характеристика по плотностным свойствам и т. д. Вместе с тем трудно представить себе возможность существования взаимно согласных температурной и биостратиграфической характеристик. При взаимносогласных характеристиках все резкостные границы, выделенные по этим характеристикам в отдельности, совпадая друг с другом, образуют единую систему. И поэтому для выделения границ этой единой системы можно в различных участках пространства использовать различные характеристики, входящие в совокупность взаимносогласных характеристик. Представим себе, что при переходе через некоторую резкостную границу резко изменяется некоторая характеристика. Если эта характеристика является каким-либо свойством, то по этому свойству граница будет иметь отчетливый характер. Если же эта характеристика, является, положим, первой производной от этого свойства, то по этому свойству граница будет носить нечеткий, как бы расплывчатый характер. Например, переход от одной толщи к другой может не сопровождаться резким литологическим разделом, а проявляться в постепенном изменении литологического состава. Аналогичные переходы возможны между двумя биостратиграфическими подразделениями. Такой же характер могут иметь сейсмические, плотностные и другие границы. Это позволяет говорить о резкостных границах первого рода по некоторому свойству (испытывает резкое изменение само свойство) и второго рода (испытывает резкое изменение какая-либо производная от свойства).

Среди резкостных границ можно различать простые, сложные и составные границы.

Представим себе резкостную границу, выделенную в пространстве, в точках которого известны значения свойств, определенные с некоторой точностью. Вдоль этой границы, по крайней мере с одной стороны, остаются непрерывными те характеристики, по которым граница выделена. Однако, если путем дополнительных комплексных исследований список характеристик, по которым выделяется данная граница, будет расширен, в этом последнем могут оказаться такие характеристики, которые будут терпеть разрыв непрерывности при движении вдоль границы. Граница, таким образом, разделится на ряд участков, каждый из которых будет представлять собой самостоятельную границу. Расчленение ранее единой (простой) границы на ее участки может произойти также вследствие повышения точности определений характеристики, по которой выделена граница. В обоих случаях можно так сократить список характеристик или настолько уменьшить точность их определения, что граница, состоящая из отдельных участков, снова превратится в простую границу.

Будем называть сложной геологической границей такую геологическую границу, которая представляет собой совокупность участков резкостных границ, выделенных по различным или одинаковым спискам характеристик, причем для всех этих участков можно указать общий список свойств (для случая различных характеристик)

или некоторую меньшую точность их определения (для одинаковых характеристик) для того, чтобы граница могла бы быть выделена как целая.

Таким образом, понятия простой и сложной границы относительны. В зависимости от количества изучаемых свойств и точности определений граница может оказаться как простой, так и сложной. Граница, которая при малодетальных исследованиях является простой, может оказаться сложной при более детальных исследованиях.

Составными границами мы будем называть геологические границы, состоящие из отрезков резкостных границ различной природы, если нельзя указать такого списка свойств, по которому вся граница могла бы быть выделена как целое. Составные границы возникают при пересечении биостратиграфических и литологических горизонтов, пересечении рудных тел со стратиграфическими горизонтами. Аналогичные границы возникают при расчленении литологической формации на биостратиграфические зоны, биостратиграфической зоны на различные литологические комплексы.

2. Дизъюнктивные границы представляют собой поверхности (линии, точки) разрыва сплошности пространства (тектонический контакт). При переходе через такую границу свойства и их производные могут резко меняться, но могут и не испытывать резкого изменения. На одних участках дизъюнктивная граница может совпадать с некоторой резкостной границей, а на других — такого совпадения может не быть. Например, дизъюнктивная граница, представленная трещиной без смещения, не сопровождается резкостными границами, хотя в отдельных случаях может совпадать с одной из таких границ. Если дизъюнктивная граница представлена трещиной со смещением, например сбрасывателем, то вследствие смещения по ней участков геологических тел, выделяемых по различным свойствам, в отдельных местах данной дизъюнктивной границы могут возникнуть резкостные границы, имеющие различную геологическую природу. С этим связана возможность прослеживания дизъюнктивных границ по положению сопровождающих их на отдельных участках резкостных границ различной природы. Это в свою очередь означает, что изучение дизъюнктивных границ (например, разломов) не должно ограничиваться каким-либо одним специализированным пространством, а должно проводиться в комплексе специализированных пространств (комплексное изучение глубинных разломов).

3. К условным границам первого типа относятся поверхности (линии, точки), на которых отдельные свойства из совокупности свойств, по которым формализовано пространство, принимают некоторые фиксированные значения. Положим, что для каждой точки рассматриваемого пространства определено содержание рудного минерала. Из производственных или экономических соображений может возникнуть необходимость оконтурить участок, где содержание рудного минерала превышает 25%. Граница этого участка будет представлять собой условную границу первого типа, поверхность равного содержания. Возможно, окажется необходимым оконтурить

участки с содержанием рудного минерала более 20%, более 16% и т. д. Ясно, что положение и количество таких границ зависит не только от распределения рудного минерала и точности измерений, но и от тех производственных и экономических соображений, которыми руководствуются. Условные границы первого типа — поверхности (линии, точки) равного содержания — могут быть охарактеризованы определенной геологической природой в соответствии с тем, по каким свойствам они выделяются (температурные, плотностные, геохимические и т. д.). К ним следует относить также изолинии, проводимые на гравиметрических и магнитометрических картах.

4. Условные границы второго типа. В геологической практике приходится разграничивать участки пространства не только по свойствам вещества, но и по другим признакам. Например, при выделении антиклинальной и синклинальной складок мы можем провести границу между ними таким образом, что она будет соединять точки перегиба (т. е. точки смены знака кривизны) границ слоев. Подобным же способом могут быть отделены участки с горизонтальным залеганием слоев от участков с наклонным их залеганием или от участков, где слои смяты в складки. Может возникнуть необходимость обособления участка пространства, оконтуриваемого некоторой изогипсой, проведенной на той или иной безусловной геологической границе, например, выделения антиклинальной складки в пределах изогипсы одного из составляющих ее слоев. Такие границы, проведенные путем соединения точек, расположенных на безусловных геологических границах и обладающих каким-либо определенным геометрическим свойством, относятся к условным геологическим границам второго типа. К условным геологическим границам второго типа можно отнести линии равных мощностей (изопахиты), поскольку они также вытекают из геометрических свойств безусловных границ. Нельзя говорить о геологической природе этих границ, так как они непосредственно не связаны с изменением значений свойств вещества. В этом смысле они сближаются с дизъюнктивными границами. Важно подчеркнуть, что ряд структурных построений проводят на основе использования именно этих двух разновидностей границ. Например, при прослеживании флексуры, переходящей по простиранию (или на глубине) в сброс, выделяют условную геологическую границу второго типа, разделяющую поднятое и опущенное крылья флексуры, продолжением которой служит дизъюнктивная граница.

5. К условным геологическим границам третьего типа относятся хроностратиграфические границы — поверхности равного времени, но не биостратиграфические границы, которые причисляются к типу резкостных, так как проводятся непосредственно по свойствам вещества (содержание остатков фауны или флоры). Сюда же должны быть отнесены палеогеографические и иные границы, связанные с любыми палеогеологическими реконструкциями, границы между породами различного происхождения (например, между морскими и континентальными), фациальные границы и т. д.

6. В геологическом пространстве могут проводиться произвольные границы, не зависящие от пространственного распределения значений свойств веществ. Так, например, может понадобиться выделить часть пространства в форме прямоугольного бруска, вытанутого вдоль трассы строящейся дороги, в районе которой предстоит вести гидрогеологические и инженерно-геологические исследования. При разведке нефтяных и газовых месторождений и гидрогеологических исследованиях иногда приходится выделять в геологическом пространстве цилиндр, ось которого совпадает с осью скважины и в пределах которого, как в зоне влияния скважины, исследуется движение жидкости и газа или какие-либо иные процессы. Во всех этих случаях границу выделяют произвольно, учитывая в какой-то мере задачи исследования.

Основанием для проведения геологических границ (кроме произвольных) служат данные измерений или определений значений свойств вещества и распределение этих значений в геологическом пространстве. До проведения границ это пространство является неполноопределенным, т. е. значения свойств определены лишь в отдельных точках. Проведение границ означает, что пространство разделено на области, в пределах которых для любой их точки допускается, что значение свойства известно. Таким образом, пространство становится полноопределенным. Так получается, например, когда на основе карты фактического материала (или разрозненных кернов буровых скважин) проводятся границы между областями, охарактеризованными различными значениями свойств (например, различной фауной, различным литологическим составом, различным возрастом, различным содержанием и т. д.). Таким образом, проведение границ имеет прямое отношение к процедуре построения модели геологического пространства.

Геологические тела

Выделение геологических тел и их типы

Геологическое тело определяется как часть статического геологического пространства, ограниченная геологической границей. При любых структурных геологических построениях выделение геологических границ служит, в частности, для оконтуривания геологических тел; причем в одних случаях ставится задача выделения отдельных тел как таковых (например, залежей полезных ископаемых, отдельных массивов, слоев, биозон и т. д.), в других — оказывается необходимым представить все геологическое пространство в виде совокупности геологических тел, т. е. произвести разбиение геологического пространства на геологические тела (например, стратиграфическое расчленение осадочной толщи, составление геологической карты, тектоническое районирование и т. д.).

В двумерном и одномерном геологических пространствах геологические тела выражаются соответственно частями поверхности и отрезками. Мерность геологического тела равна мерности пространства, в котором это тело выделяется. Для выделения геологического тела достаточно указать его границы. По характеру ограничения геологические тела можно разделить на резкостные, дизъюнктивные, условные первого, второго и третьего типов и произвольные, а также тела, ограниченные комбинированными границами, состоящими из отрезков границ различной геологической природы или различного типа.

Тело, ограниченное резкостной геологической границей («резкостное» тело), можно определить как часть статического геологического пространства, внутри которого остаются непрерывными, по крайней мере, те свойства или производные от свойств, которые были использованы для определения границы этого тела. К резкостным геологическим телам могут быть отнесены слои и толщи, выделяемые по литологическим признакам, биозоны и другие биостратиграфические тела, рудные и нефтяные залежи, земная кора, мантия, ядро и т. д.

Дизъюнктивным телом может быть названа часть геологического пространства, полностью ограниченная дизъюнктивными границами. Примером дизъюнктивных тел могут служить отдельности и полностью ограниченные разломами блоки.

В качестве условного геологического тела первого типа может быть выделена рудная залежь по заданной изоповерхности концентрации, температурная зона, расположенная между геоизотермами, и т. д.

Складчатая зона может быть разделена путем проведения по принятым правилам условных геологических границ второго типа на антиклинали, синклинали, моноклинали, структурные террасы и т. д., которые будут представлять собой условные геологические тела второго типа. В платформенной области, осложненной флексурами, в качестве условных тел второго типа могут быть выделены поднятые и опущенные ступени, а также крутые (соединительные) крылья флексур.

К условным геологическим телам третьего типа принадлежат участки пространства, ограниченные условными геологическими границами третьего типа, в частности все хроностратиграфические подразделения, такие, как системы, отделы, ярусы и т. д., а также фациальные зоны.

Геологические тела могут быть ограничены комбинированными границами, состоящими из отрезков границ различной геологической природы или типа. Тело, ограниченное составной геологической границей, называется телом пересечения.

Геологические тела, ограниченные нарушенными границами, называются нарушенными телами; среди них различаются нарушенные резкостные тела и нарушенные тела пересечения. Примером нарушенного резкостного тела может быть любая часть выде-

ленного по литологическим, биостратиграфическим или другим свойствам пласта, частично ограниченная сбросами.

Поскольку выделение резкостных, дизъюнктивных и даже условных границ всегда связано с определенной (однозначной) процедурой, то в соответствии с этим граница может быть выделена только единственным образом. Следовательно, выделение геологических тел также может быть проведено только единственным образом.

Описание геологических тел

После того, как тело выделено, его следует описать, чтобы иметь возможность сравнивать его с другими телами, классифицировать геологические тела, что в свою очередь необходимо для решения более сложных структурных задач. Например, только описав пласты (толщи, свиты), можно построить стратиграфические колонки, провести сопоставление разрезов; описав тела полезных ископаемых (залежи), можно провести их сравнительную оценку, подсчитать запасы и т. д.

В отличие от процедуры выделения тела, описание его может быть проведено различно в зависимости от поставленной задачи. Так, один и тот же пласт известняка может нас интересовать или как возможный объект разработки строительного камня, или как месторождение цементного сырья, или как коллектор нефти и газа. Этот же пласт может изучаться для какой-либо генетической задачи, например для выяснения палеогеографической обстановки времени его образования. В одних случаях описание пласта будет заключаться главным образом в рассмотрении распределения значений механических свойств породы, в других предпочтение будет отдано химическому составу, пористости и проницаемости, остаткам фауны и т. д. Самое исчерпывающее описание этого пласта, проведенное в соответствии с некоторыми определенными задачами исследования, может оказаться непригодным, если задача будет поставлена иначе.

Возникает вопрос, можно ли описать тело так, чтобы это описание отвечало всем возможным задачам исследования, годилось «на все случаи жизни», было бы «исчерпывающим» — универсальным. Поскольку в принципе любое тело может быть охарактеризовано очень большим количеством свойств или их сочетаний, а для измерения различных свойств требуется специализированная методика и аппаратура, универсальное описание связано с затратой столь больших сил и времени, что представляется практически недостижимым. Однако, если универсальное описание было бы все же возможным, огромная работа по созданию такого описания тела оказалась бы непродуктивной и экономически невыгодной. При описании тел следует учитывать способ камеральной обработки данных: например, если предполагается машинная обработка, данные должны кодироваться. Таким образом, выбираемый способ описания зависит от экономических затрат, фактической изученности и способов обработки данных.

Ясно, что при целевом описании тела, т. е. при описании по неполному списку свойств, мы выигрываем в экономическом смысле, но соответственно проигрываем в содержательном. Для компенсации этого проигрыша к проведенному описанию можно привлечь дополнительный список свойств, измеренных в более крупной сети, т. е. с меньшей детальностью. Как правило, характеристики свойств дополнительного списка приводятся в среднем или с указанием общего характера их изменения внутри тела. Например, описание каждой свиты в «Стратиграфическом словаре» (1956) является целевым — оно проведено с целью характеристики литологического состава тела. В качестве дополнительного списка приводятся лишь наиболее характерные, руководящие формы ископаемых.

Описание тела само по себе без четко сформулированной задачи не может служить предметом исследования, так как оно было бы описанием ради описания и могло бы потребовать больших непродуктивных затрат труда и времени. Всякое описание должно быть подчинено задачам исследования и ограничено в соответствии с этими задачами. В самом общем плане можно отметить, что описание имеет своей задачей объективное сопоставление геологических тел. Формализованное описание важно для кодирования этих тел и, по-видимому, должно служить основой машинной обработки результатов геологических наблюдений. Чтобы описать тело, надо, во-первых, указать его размеры, форму и состав. Однако этого будет недостаточно для структурных построений, в частности для рассмотрения тела как элемента совокупности тел, образующей структуры. В данном случае необходимо также указать положение тела в пространстве (положение центра масс и ориентировку).

Геологическое тело, внутри которого по заданной определенной совокупности свойств нельзя провести никаких геологических резкостных границ, будем называть простым геологическим телом.

В качестве первого примера рассмотрим простое геологическое тело, выделенное по некоторой совокупности свойств, например по литологическим свойствам, плотностным и электрическим характеристикам, причем значение этих свойств внутри тела меняется плавно. Пусть это будет карбонатная толща, залегающая среди глинистых толщ. Представим далее, что существует другая совокупность свойств (например, биостратиграфические признаки), распределение значений которых позволяет выделить внутри тела одну или несколько границ.

В качестве второго примера рассмотрим простое геологическое тело, выделенное только по одному литологическому свойству («а» — карбонатный состав), значение которого внутри тела остается неизменным. Допустим, что более детальными литологическими исследованиями в пределах тела удалось выделить известняки различного гранулометрического состава (пелитоморфные, алевритоморфные, брекчиевидные и т. д.), охарактеризованные значениями литологических свойств a_1, a_2, a_3 и т. д. В результате такой детализации может

оказаться возможным выделение внутри тела ряда резкостных границ и соответственно простых тел, характеризующихся значениями a_1 , a_2 , a_3 и т. д.

Рассмотренные в двух приведенных примерах тела являются сложными геологическими телами.

Сложное геологическое тело можно определить как тело, которое может быть выделено в целом по некоторой определенной совокупности свойств, измеренных с некоторой точностью, и для которого может быть указана некоторая дополнительная совокупность свойств или иная точность измерения значений свойств той их совокупности, по которой тело выделено в целом, позволяющая провести внутри него хотя бы одну резкостную границу. Следует отметить, что по самому определению внутри любого сложного тела не может быть границ, природа которых в точности совпадала бы с природой внешней границы тела.

Таким образом, понятия простого и сложного тела являются относительными, т. е. для каждого сложного тела могут быть указаны такие характеристики, по которым его можно выделить в качестве простого. Такими характеристиками в заданном списке будут те, которые внутри тела не претерпевают разрыва. С другой стороны, существуют простые тела, которые путем введения дополнительных свойств или характеристик могут быть представлены как сложные. Например, соляной массив, выделяемый по одному литологическому свойству, заключающемуся в том, что он сложен галогенными и сульфатными породами, вообще следует рассматривать как простое геологическое тело. Если (в связи с иной подробностью исследования) этому свойству придать три более частных значения: «галит», «калийные соли», «сульфат», по которым определяется ряд внутренних геологических границ и выделяются пласты калийных солей, сульфатов и сульфатная шляпа (кепрок), то тот же соляной массив будет рассматриваться как сложное тело. Можно указать на мощную карбонатную толщу (ленские известняки Восточной Сибири или подобные им образования), которая по одному уже тому признаку, что она сложена карбонатными породами, заключенными среди терригенных, рассматривается как простое тело. Если при более детальном исследовании точки этого тела охарактеризовать различными более дробными значениями литологического состава (темно-серые известняки, полосчатые доломиты и т. д.), то его можно представить как сложное тело, состоящее из нескольких свит. Если же задаться другой совокупностью свойств и охарактеризовать точки толщи различными значениями палеонтологического свойства (например, различные списки фауны), то ее можно представить как сложное тело, состоящее из нескольких биостратиграфических горизонтов, т. е. построенное иначе, чем в первом случае, когда мы оперируем литологическими свойствами.

Наряду с простыми и сложными телами для полноты описания пространства следует различать также составные тела. Под составным телом понимается любая связанная совокупность не-

условных тел, которую ни по одному из свойств нельзя выделить в целом как простое тело. Примером такого тела может служить флишевый ритм (цикл, многослой), состоящий из пластов разного литологического состава.

Отнесение конкретного геологического тела к простому или сложному того или иного внутреннего строения зависит от совокупности рассматриваемых свойств и точности определения их значений, что в свою очередь определяется задачами и масштабами исследования.

Размеры тела. Размеры тела определяются путем измерений, проведенных с некоторой точностью. Например, при описании любого стратиграфического разреза размеры выделяемых тел, а именно слоев, свит, толщ, пачек, серий и т. д. характеризуются их мощностями, определенными в сантиметрах, метрах или километрах; при описании массивов изверженных пород для характеристики размеров часто приводят площади их эрозионного среза, а когда это возможно, и вертикальные размеры. При описании залежей полезных ископаемых обычно определяется их объем в кубических единицах измерения, что необходимо для подсчета запасов. Для получения сравнимых результатов важно указывать, с какой точностью и каким способом определены размеры тела.

Остановимся на вопросе выделения геологических тел по порядку размеров. О значении выделения порядков еще М. М. Тетяев писал: «... в анализе данной структуры недостаточно простое объединение форм различных порядков, так как оно может вследствие смешения различных признаков привести к неправильной характеристике общей структуры. Для этого необходимо прежде всего установить градацию форм, слагающих данную структуру, выявить специфические черты форм каждого порядка и затем уже произвести сопоставление этих различных форм с их специфическими признаками и закономерностями» [159, стр. 59]. Действительно, при исследованиях различной детальности приходится иметь дело с телами самых различных размеров. Например, при выяснении закономерностей внутреннего строения земного шара или строения земной коры следует выделять тела размером 10^9 — 10^{12} км³ и выяснить их соотношения и не обязательно выделять тела размером, скажем, 100—1000 км³; такие тела в данном исследовании будут представлять собой лишь несущественные детали. При исследовании же геологического строения какого-либо сравнительно небольшого района (например, группы соляных куполов, небольшой континентальной мезозойской впадины и т. д.) лучше выделять тела размером 1—1000 км³.

Однако предполагаемые и нашедшие отражение в геологической литературе классификации тел или «структур» по порядкам размеров часто носят субъективный характер и не согласуются друг с другом. Особенно широко применяется выделение «структур» первого, второго и третьего порядков при изучении платформ, причем разными исследователями подразделение на порядки проводится по-своему. Н. С. Шатский [179] к «структурам» первого порядка относил синеклизы и антеклизы, ко второму — валы, плакантиклинали и купола

(локальные структуры), к третьему порядку — трещины. А. А. Бакиров [6] ко второму порядку относит валы, а к третьему порядку — локальные структуры.

В. А. Клубов [84] синеклизы и антеклизы относит к надпорядковым, своды и впадины — к первому порядку, разнообразные валы, ступени и т. д. — ко второму порядку (внутри которого различает второй высший и второй низший порядки), локальные структуры — к третьему порядку.

Особый вариант разделения платформенных складок на порядки был предложен Л. Н. Розановым [140]: к первому порядку им отнесены обширные своды, впадины, седловины и области склонов платформы, имеющие более или менее изометричные очертания и размеры — многие десятки (и сотни) километров в поперечнике; ко второму порядку — узкие протяженные зоны, валы и депрессии; третий порядок включает рифовые массивы, локальные прогибы и локальные поднятия.

Позднее среди платформенных структурных форм было предложено выделять крупнейшие (надпорядковые) площади размером 60—100 тыс. км², крупные (первого порядка) от 6—10 до 60—100 тыс. км², средние (второго порядка) от 200 км² до 6—10 тыс. км², мелкие (третьего порядка) от 3—20 до 200 км², мельчайшие (четвертого порядка) от 2—4 до 20 км² [124].

Деление структур на порядки в несколько ином виде дано в работе В. В. Белоусова [14]. Он предложил выделять большие структуры (складки, разрывы и магматические тела, выявляемые при картировании), средние структуры (складки и разрывы амплитудой в несколько метров, а также трещины и сланцеватость) и малые структуры (ориентированное расположение минералов).

Н. М. Синицын (1949 г.) выделил в Фергане складки трех порядков: первый порядок — антиклинории, охватывающие весь стратиграфический разрез и имеющие размеры вкрест простирания, измеряемые десятками километров; второй порядок — генетические подчиненные крупные антиклинали и синклинали размером несколько километров вкрест простирания с изменением разрезов и фаций в пределах структурных форм; третий порядок — остальные складки, обычно приуроченные к толщам определенного литологического состава. Н. А. Никифоров [121] в результате детального изучения тектоники рудных месторождений выделяет еще четвертый, пятый и шестой порядки. Шестой порядок — это самые мелкие гофрировки, обычно менее 1 м, наблюдающиеся в отдельных пластичных прослоях, и мелкие трещины.

В приведенных классификациях отсутствуют четкие правила определения размеров тел, составляющих тот или иной порядок. Пользование же генетическими критериями взаимозависимости, взаимообусловленности и последовательности может, естественно, носить субъективный характер.

Более строго определены порядки размеров структур К. Г. Войновским-Кригером [43]; он подразделяет складки на мегаструктуры

(поперечник оси от единиц километров и выше), макроструктуры (от единиц метров до единиц километров), мезоструктуры (от единиц сантиметров до единиц метров) и микроструктуры (от микроскопических до единиц сантиметров). К. Г. Войновский-Кригер проследил распределение некоторых типов складок по порядкам размеров или, как он называет, рангам и пришел к выводу, что единой классификации для складок всех масштабов быть не может. Действительно, геологические тела, принадлежащие к определенному порядку (или порядкам), обладают не только пределами размеров, но также особенностями состава, строения и происхождения, отличающими эти геологические тела от тел, принадлежащих к другим порядкам. Следовательно, выделение порядков имеет смысл не только для отсевания геологических тел определенной крупности, но главным образом для выделения таких множеств геологических объектов, которые позволили бы исследовать специальные вопросы геологического строения и развития.

Для отбора же объектов исследования в зависимости от его цели и детальности важно иметь систему оценки размеров геологических тел. Размеры геологических тел должны оцениваться относительно какого-либо единого природного масштаба и сводиться в определенные порядки. Естественно, что масштаб и правила определения порядков могут быть различными в зависимости от задач и детальности исследований. Особенно существенным для объединения геологических исследований различной детальности представляется выбор универсальных масштабов и правил. В качестве одного из возможных вариантов может быть, например, предложен следующий. За масштаб может быть принято самое крупное геологическое тело — планета Земля, объем которой 10^{12} км³ (точнее $(108 \cdot 10^{10})$ км³). Если разделить все множество геологических тел на порядки таким образом, что линейные размеры тел соседних порядков будут отличаться на один порядок, то их объемные размеры будут отличаться на 10^3 . Тогда можно отнести тела размером 10^{12} — 10^9 км³ к первому порядку, 10^9 — 10^6 км³ — ко второму порядку, 10^6 — 10^3 — к третьему порядку, 10^3 — 10^0 км³ — к четвертому порядку. Сравнительно мелкие геологические тела будут иметь пятый (10^0 — 10^{-3} км³), шестой (10^{-3} — 10^{-6} км³), седьмой (10^{-6} — 10^{-9} км³), восьмой (10^{-9} — 10^{-12} км³) порядки.

Первый порядок: земной шар, ядро, оболочка, земная кора, гранитный слой, базальтовый слой. Размеры такого же порядка имеют астрономические тела: Луна, Меркурий, Венера, Марс, Плутон, спутники Юпитера (Ио, Европа, Ганимед, Каллисто).

Второй порядок: Срединно-Атлантический хребет (24 млн. км³), чехлы Сибирской и Русской платформ, чехол Западно-Сибирской плиты, фундаменты Сибирской и Русской платформ, крупнейшие батолиты Северной Америки—Берегового хребта, Айдахо, Сьерра-Невады, Байи, Калифорнии. Такой же порядок размеров имеют крупные астероиды.

Третий порядок: Прискаспийская мезозойская впадина, Вилюйская мезозойская синеклиза, Минусинская впадина, Енисейский

кряж (протерозой), соляные массивы—гиганты (Чалкарский, Баскунчак и др.), крупные интрузивные тела (Хибинский и Ловозерский плутоны, Баргузинский гранитоидный плутон, Олекминский анортозитовый плутон, Саянский гранодиоритовый массив, Маинская интрузия плагиогранитов, Бушвельдский лополит в Трансваале, лополит Садбери в Онтарио, лополит Дулут в Миннесоте), спутник Марса Фобос.

Четвертый порядок: соляные массивы Прикаспийской впадины (Досор, Макат, Байчунас, Искине), осадочные комплексы мезозойских и кайнозойских впадин Забайкалья (Гусиноозерской, Тункинской, Баргузинской), интрузивные тела Байкальского офиолитового пояса (Давыренское, Парамское и т. д.), лополит Ситампанди в Южной Индии, Аскизский и другие купола Минусинской впадины, крупные кимберлитовые трубки; к этому же порядку размеров принадлежит астероид Эрос.

Пятый порядок: типичные газовые залежи центральной части Западно-Сибирской низменности, Аризонский метеоритный кратер, мелкие кимберлитовые трубки, конус сопочной брекчии одного из грязевых вулканов Азербайджана (Локбатан, Кянизадаг, Утальги и др.).

Оценка размеров геологических тел важна не только для выбора соразмерных объемов в соответствии с задачами исследования, но также, по-видимому, для количественных оценок многих геологических процессов, например скоростей тектонических движений по мощностям отложений и т. д.

При многих геологических построениях может оказаться удобным определять размеры геологических тел и структурных форм не по объемам (при неизвестной глубине распространения тела представления о его объеме могут быть лишь гипотетичными; таковы, например, представления об объеме плутонов), а по занимаемым ими площадям.

За эталон в данном случае можно принять, например, одну пятую часть поверхности Земли, т. е. 10^8 км². При таком масштабе площади размером более 10^8 км² будут принадлежать к первому порядку, 10^8 — 10^6 км² ко второму порядку, 10^6 — 10^4 км² — к третьему порядку, 10^4 — 10^2 км² — к четвертому порядку и т. д. К первому порядку будет принадлежать, например, Тихоокеанский талассократон, ко второму порядку — Русская и Сибирская платформы, Западно-Сибирская плита, Верхояно-Чукотская складчатая область, крупные щиты, такие, как Балтийский и Аравийский, к третьему порядку — Колымский, Охотский, Центрально-Французский массивы, Днепровско-Донецкая и Прикаспийская впадины, Кузнецкий бассейн, складчатые системы Альп, норвежские каледониды, мелкие щиты (Украинский), синеклизы и антеклизы, к четвертому порядку — крупнейшие плутоны, а также соляные массивы — гиганты чалкарского типа, платформенные валы и т. д.

Форма тела. Описание формы тела, так же как и описание его состава, должно проводиться в соответствии с задачами и масшта-

бом исследования. Так, при собственно стратиграфических исследованиях, по-видимому, достаточно указать, что исследуемое тело имеет форму слоя. Изгибание слоя, его нарушенность сбросами, раздувы мощностей, массивообразные выступы, связанные с пластическим течением в ядре складок, и т. д. при таком исследовании не рассматриваются и в описание форм не входят. С другой стороны, в случае приуроченности к слою залежей полезных ископаемых такое описание совершенно недостаточно. Следует указать контуры этой пластообразной залежи, определить положение мощных (толстых) и маломощных (тонких) ее участков, выяснить ее изгибы, глубины залегания и т. д. При описании формы тела, так же как при описании его размера, необходимо иметь соответствующий «масштаб». Роль его в данном случае должна играть классификация или перечень форм с тем, чтобы была возможность сопоставить описываемые тела с этим «масштабом» форм. Описание формы тела может быть достигнуто эталонным и матричным способами.

Эталонный способ описания формы тела заключается в том, что за основу принимается некоторое конечное число эталонов простых форм. Форма тела, которая может быть сведена к одному из таких эталонов, называется простой формой, а форма, которая может быть представлена только как совокупность нескольких эталонов, называется сложной формой.

Рассмотрим два варианта эталонного способа. Во-первых, он может быть основан на распространенных типовых формах геологических тел, принимаемых как эталонные (простые). Допускается, что каждая данная простая форма может сколько угодно широко варьировать в пределах своего типа. В качестве простых форм можно указать слои и их разновидности: смятые, нарушенные, смятые нарушенные слои, а также блоки, массивы, жилы и т. д. Сложными формами в таком случае будут, например, массивы с ответвлением в виде слоев, слои, расчлененные на блоки, и т. д. Приведенный здесь перечень простых форм основан на опыте описания природных геологических тел и необходим при классификации геологических структур. В зависимости от особенностей строения интересующей нас части геологического пространства и задач исследования могут быть приняты различные иные перечни простых форм и по-разному классифицированы геологические структуры. Так, в некоторых случаях простыми формами, возможно, следует считать дайки, трубки, линзы и т. д. Такие перечни не являются формальными. Эталонный способ описания включает в себя и процедуру представления описываемых форм через эталонные. В геологической практике в качестве такой процедуры при описании сложных форм используется разбиение тел с помощью условных границ второго типа. Например, смятый слой разбивается на антиклинали и синклинали, а описание соляного массива с шипом проводится путем разбиения его на массив и шип. Такая процедура также не формальна и вытекает из геологического опыта.

Во-вторых, эталонный способ описания предполагает наличие формально заданного перечня эталонных форм и процедуры представления форм тел через эталонные. Ясно, что в этом варианте возможны различные системы описания формы в зависимости от принятого перечня эталонных форм и процедуры представления, которые во всех случаях задаются формально. Способ описания, в котором формализованы только перечень или только процедура представления, не может рассматриваться как формальный.

В качестве простейшего перечня эталонных форм может быть приведено широко распространенное разделение геологических тел по форме—на линейные, пластинчатые (пластообразные) и изометричные.

Матричный способ описания формы тела в геологии практически не применяется. Суть его сводится к следующему. Описываемые тела разбиваются заданной сетью с определенной величиной ячеек. Выбор этой величины зависит как от целей, так и от масштаба исследований. Затем выбирается любая точка, лежащая на пересечении границы тела с сетью (первая граничная точка), и измеряются ее расстояния r до всех других аналогичных точек, число которых обозначим через k . Данные измерений сводятся в матрицу $\{r_{ik}\}$, где r_{ik} — расстояние от первой граничной точки до k -й граничной точки, отнесенное к наибольшему расстоянию между граничными точками. Такое описание формы не зависит от размеров и положения тела в пространстве. Например, описание двух шаров разной величины будет характеризоваться одинаковыми числами, ибо отношения расстояний равноименных граничных точек от первой граничной точки к диаметру шара в каждом из этих случаев будут равны. К аналогичному выводу придем, рассматривая разновеликие эллипсоиды с равными отношениями осей. В последнем случае на описание не влияет и положение осей эллипсоидов (например, длинных) относительно друг к другу. Отсюда вытекает, что матричный способ позволяет описывать тела с точностью до преобразования движения и подобия. Чтобы сравнить тела, описанные матричным способом, необходимо разработать способ сопоставления матриц или, говоря иначе, установить метрику на множестве матриц.

Состав тела. Состав простого тела может быть описан по крайней мере тремя способами.

Первый способ описания состава простого тела заключается в его характеристике по среднему значению свойств. В этом случае не указывается, как изменяются значения свойств внутри тела. В качестве примера приведем такое литологическое описание свиты: «Венгерийская свита (по р. Венгери на Сахалине). Глины песчаные, слоистые, оскольчатые, темно-серого цвета с прослоями серого песчаника. Мощность около 900 м» [150, стр. 191]; или такое петрографическое описание гранитного массива: «Билляхский массив . . . сложен розовато-серыми крупнозернистыми порфировидными гранитоидами, часто с гнейсовидной структурой, и подчиненными им гранитами, граносиенитами и кварцевыми диоритами, связанными между собой взаимными переходами» [160, стр. 204].

К описанию состава по среднему значению свойств относится также описание состава Земли ее средней плотностью, описание состава земной коры таблицей процентного содержания в ней окислов или элементов и т. д.

В модели простого тела, описанного первым способом, нельзя провести условные границы первого типа на основании свойств, по которым описан состав тела.

Второй способ описания состава простого тела заключается в том, что значения свойств указываются для некоторого дискретного ряда точек внутри него и, таким образом, описываются изменения значений свойств внутри тела. Так, при описании пласта песчаника могут быть указаны значения его пористости (проницаемости, фракционного состава, процентное содержание одного из терригенных компонентов и т. д.) в нескольких точках, в которых были проведены соответствующие измерения. В результате может быть построена модель простого тела, а в ней проведены условные границы первого типа на основании свойств, по которым описан состав тела. Примерами моделей простых тел, построенных вторым способом, могут служить представленные в изолиниях карты пористости и проницаемости, процентного содержания химических элементов и т. д.

Третий — функциональный способ описания состава простого тела применим в тех случаях, когда в пределах последнего установлены закономерные изменения состава, описываемые достаточно простыми функциями. Так, если внутри массива изверженных пород химический состав меняется от центра к периферии пропорционально расстоянию, то состав будет описываться линейной функцией, на основании которой он может быть вычислен для любой точки.

Кроме указанных способов возможны еще различные статистические описания тел.

Описание сложных и составных тел. Чтобы описать сложное тело, надо прежде всего описать его в качестве простого тела, имея в виду существование характеристик, по которым каждое сложное тело может быть выделено как простое. Сложное тело подразделяется на ряд простых тел, которые по отношению к этому сложному телу являются структурными элементами. Поэтому описание сложного тела должно быть дополнено описанием его структурных элементов с точки зрения их размеров, формы и состава (это описание может быть статистическим).

Поскольку для характеристики сложного тела важно не только описание структурных элементов, как таковых, но и определение их взаимоотношений в пространстве, необходимо описать положение центров их масс и ориентировку. Центр массы структурного элемента определяется в предположении его однородности (центр масс совпадает с положением центра тяжести тела). Положение центра масс определяется координатами, число которых соответствует мерности тела. Совокупность центров масс структурных элементов сложного тела составляет его структурную решетку.

Ориентировка в пространстве и положение центра масс. Каждое тело вообще и геологическое тело в частности обладает по крайней мере одним так называемым максимальным (наиболее протяженным) диаметром (осью). При наличии одного диаметра (оси) говорят о вытянутых или линейных телах. Примерами подобных тел могут служить: шток, барьерный рифовый массив, линейная или брахиформная складка. Направление максимального диаметра характеризует ориентировку тела в пространстве.

В случае, если тело представляет собой слой, его ориентировка в пространстве может быть определена направлением минимального диаметра (например, направлением нормали к границам слоя), так как количество максимальных диаметров, лежащих в плоскости слоя, практически бесконечно и никакой определенной ориентировки они характеризовать не могут. Нетрудно видеть, что использование минимального диаметра для определения ориентировки слоя в частном случае отвечает обычно измеряемым при картировании элементам залегания.

Если тело не обладает единственным максимальным или единственным минимальным диаметром, то оно является изометричным, а его ориентировка в пространстве — неопределенной.

При описании составного тела указываются его размеры, форма, положение в пространстве, а также структурная решетка и ориентировка структурных элементов. Состав составного тела, поскольку оно по принятому определению не сводимо к простому телу, в целом не может быть описан.

Элементаризация геологического пространства

Разбиение сложного тела на простые тела (структурные элементы) можно назвать э л е м е н т а р и з а ц и е й сложного тела. Так как сложное тело представляет собой часть геологического пространства, то понятие элементаризации можно распространить на любую часть геологического пространства или на все пространство в целом. Элементаризация имеет смысл только в определенном формальном статическом пространстве, т. е. может быть проведена только по заданному списку характеристик. Так, элементаризация пространства может заключаться, например, в разбиении Земли на слои и оболочки по скорости прохождения упругих волн, в разбиении последокембрийской осадочной толщи на биостратиграфические единицы, в расчленении любого геологического разреза на слои по литологическим признакам и т. д. К элементаризации, основанной на свойствах, определенных на телах или группах тел, относится тектоническое районирование.

Понятно, что возможность элементаризации геологического пространства является необходимой предпосылкой его описания. К элементаризации пространства мы прибегаем практически при любых геологических исследованиях. Элементаризация простран-

ства должна осуществляться таким образом, чтобы получаемые элементы были соразмерны, т. е. относились бы к одному или близким порядкам. Действительно, вряд ли имеет смысл разбивать пространство на два слоя мощностью соответственно 1 км и 1 мм. При стратиграфических исследованиях мы разбиваем пространство на соразмерные стратиграфические системы, при тектоническом районировании — на соразмерные платформы и геосинклинальные области и т. д.

Для получения при элементаризации соразмерных элементов важно располагать такими характеристиками, которые позволили бы провести соответствующее разбиение. Будем называть мощными характеристиками те, которые позволяют выделять соразмерные элементы, и маломощными характеристиками те, по которым выделяются элементы в широком диапазоне порядков размеров.

Назовем мощностью характеристики отношение среднего объема элементов к разности объемов наибольшего и наименьшего элементов, выделенных по данной характеристике в рассматриваемой области пространства. Элементаризацию пространства следует проводить по характеристикам, обладающим наибольшей мощностью. При полной элементаризации геологического пространства по заданному списку свойств мы получаем возможность объективного описания и сравнения структурных элементов.

В геологических исследованиях часто применяется и другой способ элементаризации. Из списка свойств, по которому выделяются тела, выбирается некоторый подсписок, и по нему пространство полностью элементаризируется. Затем для отдельных различных тел производится последующая элементаризация по различным под спискам из оставшихся свойств. Такую операцию назовем разбиением, предопределенным элементаризацией.

На Юго-Восточном Кавказе, например, между терригенными толщами (готерива — среднего альба и палеоцена — эоцена) залегает мощный комплекс нетерригенных пород (верхнего альба — верхнего мела) [47]. Он представляет собой геологическое тело, ограниченное резкой границей и выделенное по некоторому списку свойств. Выбрав из списка дополнительный подсписок (присутствие или отсутствие вулканогенных и карбонатных пород), проводят по нему элементаризацию части пространства, занятого телом, и выделяют две толщи: 1) вулканогенно-осадочную и 2) карбонатно-флишевую. Каждую из них элементаризируют уже по различным свойствам, входящим, однако, в список свойств, объединяемых общим названием «вещественный состав». Так, в вулканогенно-осадочной толще по химическому составу выделяют базальты и андезиты, плагиоклазовые и пироксеновые порфириды, по структурным особенностям пород — лавы, туфы, туфоконгломераты. В карбонатно-флишевой толще по гранулометрическому составу различают известковистые песчаники, пелитоморфные известняки и т. д.

Разбиение, предопределенное элементаризацией, позволяет сравнивать лишь те структурные элементы, которые выделены по

одному свойству или одному подписку свойств, т. е. входящие в состав одного более крупного элемента. Сопоставление всех частей геологического пространства в этом случае невозможно.

Элементаризация геологического пространства является необходимой основой для описания и анализа любой части этого пространства и всего пространства в целом.

Геологические структуры

При рассмотрении особенностей системного подхода в геологических исследованиях уже было дано определение структуры в самом общем смысле — как совокупности связей и отношений системы. Понятие геологической структуры более конкретно. Оно относится к статическим системам и отвечает совокупности пространственных отношений, гравитационных и отчасти атомно-молекулярных связей их элементов. Это понятие применяется обычно лишь на планетарном (геологическом) уровне организации вещества, где в качестве структурных элементов статических систем выступают геологические тела. Когда же касается атомно-молекулярного уровня организации вещества (кристаллы, минералы, отчасти горные породы), то чаще применяются понятия «кристаллические и петрографические структуры».

В существующих геологических описаниях термин «структура» используется в различных значениях. Многозначность этого термина — не только его большой недостаток, но и один из главных недостатков геологической терминологии вообще. Приведение в порядок терминологии, т. е. устранение многозначности и множественности терминов, является необходимой предпосылкой создания научного геологического языка. Известно, например, что термин «геологическая (тектоническая) структура» употребляется в двух значениях. Во-первых, под структурой (только в единственном числе) понимается строение вообще (строение какого-либо района, области, толщи, массива, земной коры); во-вторых, под структурами понимаются отдельные формы залегания горных пород, такие, как антиклинали, синклинали, грабены, синеклизы, платформы, щиты и т. д. Часто понятие «структура» связывается с генезисом. Например, под структурой понимается нарушенное залегание горных пород, обязанное тектоническим движениям. Очевидно, нельзя считать или не считать нарушение структурой в зависимости от того, как определяется его происхождение. Неоднозначность и субъективность определения генезиса переносится при таком подходе на определение структуры.

В существующих руководствах по структурной геологии и геотектонике рекомендуется или применяется термин «геологическая (тектоническая) структура» в обоих приведенных значениях или только в первом из них.

В. Е. Хаин принимает оба значения термина «тектоническая структура». Так, структуру земной коры (в первом смысле) он определяет как «неравномерное распределение в коре горных пород

различного состава, происхождения и возраста, различия в условиях залегания в разных пунктах разновозрастных и одинаковых по происхождению образований, в частности различное гипсометрическое положение и наклон первоначально отложившихся на одном уровне и в горизонтальном (или близком к нему) положении осадочных слоев, а также разнообразные по форме и распределению в пространстве внедрения магматических тел в осадочные толщи» [171, стр. 32].

Во втором смысле он тектонические структуры определяет как «конкретные, в большей или меньшей мере обособленные друг от друга участки земной коры, отличающиеся от смежных участков определенным сочетанием состава и условий залегания слагающих их пород» [171, стр. 32]. Выделяются тектонические структуры первого (материки и океаны), второго (геосинклинальные области и платформы), третьего (геосинклинальные системы, срединные массивы, мегантиклинории, передовые прогибы, щиты, антеклизы, синеклизы) и низших (так называемые «коровые структуры») порядков.

В обоих значениях термин «геологическая (тектоническая) структура» принимался ранее также мною [87]. Однако двусмысленность термина, поскольку она противоречит требованию однозначного соответствия терминов и понятий в научном языке, по-видимому, должна быть устранена.

В единственном смысле понимается термин «геологическая структура» авторами Геологического словаря [51], а также Г. Д. Ажгиреем [1] и В. В. Белоусовым [15]. Г. Д. Ажгирей структуру определяет как пространственное расположение горных пород и нарушения их залегания, возникшие главным образом в результате тектонических движений; в качестве главных элементарных структур он называет слоистую, складчатую, трещинную и разрывную. В. В. Белоусов не дает развернутого определения понятия структуры, отмечая лишь, что под структурой следует понимать строение того или иного участка земной коры в целом.

Отметим, что определение структуры, предложенное В. Е. Хаиным (в первом смысле) и Г. Д. Ажгиреем, соответственно отличается от сформулированного нами ранее предварительного определения этого понятия. Во-первых, по В. Е. Хаину и Г. Д. Ажгирею, структура определяется расположением или неравномерным распределением горных пород, тогда как в нашем понимании неравномерное распределение вещества может иметь место, в частности, в пределах простого тела, внутри которого нет границ и которое, следовательно, не обладает структурой; структура же определяется формой, величиной и взаимоотношением структурных элементов, т. е. резкостных или дизъюнктивных тел. Следовательно, для того чтобы определить структуру, необходимо выделить геологические тела, а для этого надо иметь ясное представление о геологическом пространстве. Во-вторых, в обоих определениях, а в особенности у Г. Д. Ажгирея, структура связывается с генезисом. Г. Д. Ажгирей, например, предла-

гает к структуре относить нарушенные залегания пород, обязанные преимущественно тектоническим движениям; очевидно, здесь предполагается устанавливать, как произошло то или иное нарушение, и в зависимости от этого считать или не считать его структурой. Неоднозначность и субъективность восстановления генезиса при таком подходе переносятся на определения структуры. В нашем понимании структура определяется только формой, величиной, пространственными соотношениями структурных элементов и их связями и рассматривается независимо от генезиса. Определение и описание структуры, так же как выделение и описание границ и тел, основываются только на изучении распределения вещества в статическом пространстве. На основании исследования структур и вещественных ассоциаций мы можем прийти к выводам о последовательности формирования геологических тел, ходе геологических процессов и генезисе геологических объектов. Таким путем могут быть установлены связи между структурой и генезисом, но изучение структур (тел, границ и других элементов статического пространства) должно предшествовать выяснению генезиса, а не наоборот.

Наряду с рассмотренными генетическими определениями структуры в геологической литературе можно найти такие определения, в которых учитываются только пространственные соотношения. Однако эти определения не раскрывают содержания понятия. Действительно, в таких определениях, как: 1) любая форма залегания горных пород [157], 2) пространственная форма залегания горных пород [145], 3) форма залегания геологических тел [87], 4) форма залегания пластов, слагающих земную кору [145], 5) совокупность тектонических форм участка земной коры, определяемая особенностями его геологического строения [51], и 6) геологическое строение местности, показывающее характер залегания и взаимоотношения различных пород [8], структура определяется через «форму», «совокупность форм» или «строение», т. е. через родовые понятия, которые сами по себе могут совпадать с определенными понятиями структуры. Очевидно, что в перечисленных шести определениях не соблюдено одно из элементарных требований логики, согласно которому определения не должны «содержать круга», т. е. не должны замыкаться сами на себя.

В петрографии изверженных и осадочных пород понятие «структуры» в принятом при тектонических построениях смысле как бы распадается на два понятия — «структуры» и «текстуры». Соотношение этих терминов весьма неопределенно и разными исследователями понимается по-разному. Некоторые авторы считают их синонимами [123], другие полагают, что резкое разграничение понятий о текстуре и структуре не представляется возможным, ибо они, в сущности, выражают одно и то же широкое понятие о строении предметов [38]. По Ф. Ю. Левинсону-Лессингу [100], различия между этими понятиями связаны с точностью исследований, так как структура определяется морфологическими признаками и характером сочетания составных частей породы, обнаруживающимися

при микроскопическом исследовании, а текстура — при макроскопическом. Разделение понятий «структура» и «текстура» по сумме признаков, бытующее в литологии, отлично от такового в петрографии изверженных пород. В применении к осадочным породам под структурой понимают обычно размерность и форму зерен [28], а в применении к изверженным, кроме того, — и взаимоотношения их [74]. Соответственно, текстурой осадочных пород называют взаимное расположение частиц [28] и реже также их ориентировку по отношению как к поверхности наложения, так и к Земле [38], а изверженных — расположение и распространение составных частей пород в пространстве [74]. Добавим, что в американской и советской геологической литературе понятия «структура» и «текстура» употребляются в прямо противоположных смыслах.

Разделение структуры и текстуры в петрографии представляется неудобным. В интересах создания общего научного языка в различных геологических дисциплинах целесообразно под структурой в петрографии понимать так же, как предлагается для тектоники, расположение и связи структурных элементов (зерен, обломков, агрегатов). Под текстурой же можно понимать лишь одну из частей характеристики структуры, например ориентацию структурных элементов.

В петрографии же часто содержится генетический оттенок в определениях структуры (например, катабластическая, катакластическая и каталитическая структуры). Различение текстуры как особенностей, которые отражают пространственные взаимоотношения составных частей и определяют собой общий внешний облик горной породы, явно выступающий макроскопически, и структуры как особенностей, выступающих при микроскопических исследованиях, очень сужает поле применения термина и как бы запрещает его использование в областях геологии, рассматривающих более крупные, чем в петрографии, структурно-вещественные ассоциации.

Многозначность термина, обусловленность некоторых вариантов определения обозначаемых им понятий генетическими концепциями, стремление в некоторых случаях ограничить его микроскопическими размерами объекта и многие другие недоразумения, связанные с его использованием, а одновременно сознание того, что этот термин должен быть однозначен для геологии в целом и что иначе он не может быть элементом научного общегеологического языка, — все эти обстоятельства и соображения привлекают внимание к проблеме геологической структуры.

Автором совместно с Ю. А. Ворониным, Ч. Б. Борукаевым, В. А. Соловьевым и Л. М. Парфеновым было детально разработано понятие геологической структуры. Вначале под структурой сложного геологического тела было предложено понимать «расположение составляющих его простых тел, охарактеризованных только объемом и формой» [91, стр. 30]; это же определение было отнесено к любой части статического геологического пространства. Позднее «те тела, по размерам, форме и взаимоотношениям которых определяется

данная геологическая структура» [88, стр. 9], предложено было называть структурными элементами. Далее понятие об элементах сложного тела (или геологического пространства) было как бы раздвоено: элемент, охарактеризованный только в геометрическом смысле, назывался структурным, а тот же элемент, охарактеризованный в субстанциональном смысле, — вещественным. Таким образом, структура как чисто геометрическая характеристика сложного тела геологического пространства стала противопоставляться вещественной ассоциации. На этой основе определение структуры было уточнено и была разработана методика ее описания [90]. В упомянутых работах под структурой понимается количественно определенная и измеряемая характеристика сложного геологического тела или геологического пространства, независимая от его генезиса и истории формирования. Исследование структуры в таком смысле входит в то фундаментальное описание геологических объектов, которое может служить основой для любых статических, генетических и историко-геологических построений. Намеченный в этих работах путь исследования структуры может быть назван геометрическим.

Исследование геологической структуры с учетом системного подхода

Структура в учении о кристаллах

Под структурой системы подразумевается совокупность отношений и связей между ее элементами. Если речь идет о геологических телах (кристаллы, горные породы, слоистые системы и геологические формации, осадочная оболочка), то, имея в виду их структуру, под отношениями можно понимать пространственное расположение их элементов, а под связями — те силы, которые удерживают элементы в пределах системы и обеспечивают, таким образом, ее существование как органичной целостности. Именно так понимается структура в учении о кристаллах. «Кристалл определяется как однородная анизотропная бесконечная постройка, в которой атомы, ионы или их группы, занимая строго определенные геометрически закономерные места в пространстве, создают в совокупности кристаллическую структуру (решетку)» [144, стр. 154]. Ионы или группы ионов рассматриваются как структурные элементы кристалла, их пространственные отношения находят выражение в кристаллической (пространственной) решетке, органичная же целостность определяется различными видами химических связей. Различают, в частности, ионную связь, заключающуюся в электростатическом притяжении противоположно заряженных ионов (например, в хлористом натрии), ковалентную связь, заключающуюся в наличии общих электронов для нескольких атомов, металлическую связь, заключающуюся в наличии общих электронов для всех атомов (электрон-

ный газ), вандерваальсовскую (остаточную) связь, удерживающую нейтральные молекулы, являющиеся элементами кристалла.

В соответствии с системным подходом и по аналогии с кристаллами рассмотрим возможность применения понятия структуры к горным породам и другим геологическим структурно-вещественным ассоциациям, понимаемым в качестве систем.

Горные породы

Поскольку горные породы, как и минералы, представляют собой (или слагают) геологические тела и мы рассматриваем их в общем предмете геологии, понятие структуры может быть для них только одинаковым. Если для минералов (кристаллов) структура прежде всего определяется кристаллической решеткой с определенным расстоянием и геометрическими отношениями между структурными элементами (атомами, ионами, молекулами), то структура горной породы также должна быть определена структурной решеткой. В качестве структурных элементов горных пород можно рассматривать кристаллы в случае кристаллических пород и обломки в случае обломочных пород, объединенные общим наименованием зерен, или гранул. Центры масс зерен образуют структурную решетку. Для структуры горной породы, так же как и для структуры любого кристалла, характерна периодичность, т. е. неизменная повторяемость в пределах области распространения породы некоторой элементарной группы структурных элементов. Для гранита элементарной группой является минимальный по размерам агрегат, включающий все характерные для гранита породообразующие минералы, для мономинерального равномернозернистого песчаника — одно песчаное зерно, с окружающим его цементом и т. д. Для того чтобы определить горную породу, достаточно указать состав, структуру, а также размеры элементарной группы. Горная порода представляет лишь многократное повторение элементарной группы по всей области распространения породы. Периодичность состава горных пород отмечалась многими. Ф. Ю. Левинсон-Лессинг писал, например, что в «изверженной породе кристаллические зерна каждого минерала равномерно распределены по всей породе, зерна разных минералов чередуются, вообще говоря, поодиночке, и поэтому структура и состав такой породы являются вполне однородными во всех частях, как можно убедиться на примере гранита» [100, стр. 75].

Структурные решетки горных пород могут быть различными. Равномернозернистые пески, состоящие из хорошо окатанных сферических зерен при наиболее плотной их укладке, будут обладать правильной тетраэдрической решеткой с равным расстоянием между центрами масс смежных зерен. Пески с менее плотной укладкой могут обладать правильной кубической решеткой с равным расстоянием между центрами масс соприкасающихся зерен. Аналогичные решетки могут существовать у равномернозернистых пород с изометричными кристаллами,

Если элементарная группа состоит из нескольких структурных элементов (кристаллов, обломков) разной формы и величины, структурная решетка каждой такой элементарной группы может характеризоваться неравными расстояниями между центрами масс и быть асимметричной. Такая структурная решетка представляет собой как бы гнездо (ритм), многократно повторяющееся по всему объему данной горной породы, подобно узору на обоях. Если гнезда (ритмы) равны по объему и изометричны, то они образуют правильную регулярную структурную решетку.

Введем понятия плотности, сжатия и нерегулярности решетки.

Плотность решетки может выражаться количеством центров масс структурных элементов на единицу объема породы. Таким образом, чем более крупнозернистой является порода, тем ее структурная решетка менее плотна.

Под сжатием решетки будем понимать нарушение правильности решетки в том смысле, если расстояния между центрами масс смежных структурных элементов являются относительно сокращенными вдоль одной или двух координатных осей. В первом случае решетка может быть названа слоистой, во втором — линейной. Решетки этого типа характеризуют ориентированные структуры горных пород. Сжатие решетки следует стремиться выражать количественно, например отношениями средних расстояний между центрами масс по различным координатным осям. Например, как $\frac{r_{xy}}{r_z}$

для слоистой решетки, сжатой по z , или как $\frac{r_z}{r_{xy}}$ для линейной решетки, сжатой по x и y с направлением течения по z (здесь r_{xy} — среднее расстояние между центрами масс в плоскости xy , а r_z — среднее расстояние по оси z).

Под нерегулярностью решетки следует понимать неодинаковость расстояний между центрами масс структурных элементов, или гнезд. В правильных решетках обязательны равномерность, изометричность зерен и их плотная однородная упаковка. Нерегулярность решетки создается при нарушении этих условий и может быть охарактеризована статистически гистограммой расстояний между центрами масс. Дисперсия этой величины может служить количественной характеристикой нерегулярности решетки. Кстати сказать, нерегулярные решетки широко распространены и в минералах. Так, стекловатые массы обладают нерегулярными решетками атомов (молекул); причем степень нерегулярности этих решеток может быть различной и в принципе быть выражена гистограммами межатомных расстояний.

Располагая величинами плотности, сжатия и нерегулярности решеток, можно сравнивать и классифицировать структуры горных пород.

Кроме зерен (кристаллов) в горных породах присутствует или нераскристаллизованная (плохо раскристаллизованная) масса (в кристаллических породах), или цемент (в осадочных породах):

цемент или нераскристаллизованная масса горной породы заполняет межзерновые промежутки, сливающиеся в сплошную массу, и представляет собой, таким образом, «проникающий» на всю область распространения породы структурный элемент, для которого понятие центра массы не имеет смысла при определении структурной решетки, образованной зернами. Поэтому цемент (или нераскристаллизованная масса) должен рассматриваться как особая среда. При переходе ко второму ярусу структурной модели можно и следует характеризовать отдельно структуру зерен (прораствание, зональность строения и т. д.) и структуру цемента, имея в виду, что «чем глубже модель, т. е. чем больше ярусов оригинала она моделирует, тем ближе свойства модели к свойству оригинала» [113, стр. 11]. При всем этом следует иметь в виду, что определение структуры породы в целом, структуры цемента и структуры зерен представляют собой самостоятельные, хотя и дополняющие друг друга задачи.

В качестве самостоятельной компоненты структуры породы можно рассматривать совокупность пор, или поровое пространство, строение которого заслуживает самого внимательного изучения в связи со способностью пород содержать в своих порах подземные воды, нефть и природный газ. Важнейшими характеристиками порового пространства горных пород являются их пористость и проницаемость.

Когда речь идет о структуре кристалла, имеются в виду не только кристаллическая решетка в геометрическом смысле, но также и те связи, которые удерживают структурные элементы кристалла в определенном положении друг относительно друга и обеспечивают целостность и прочность кристалла. Эти связи для кристаллов являются гетерогенными — они могут быть ионными, ковалентными, металлическими и вандерваальсовскими. Очевидно, что вопрос о связях между структурными элементами должен быть рассмотрен и для горных пород. Связи эти также являются гетерогенными.

Существуют горные породы, структурные элементы которых практически лишены связей, удерживающих их в определенном порядке, как это имеет место, например, в случае сыпучих песков. Правда, даже сыпучие пески удерживаются в виде компактных масс (дюны, барханы), ограниченных склонами, определяемыми углами естественных откосов, зависящих от сил трения, возникающих между зернами песка. Влажный песок более прочен благодаря силам поверхностного натяжения содержащейся в породе жидкости. Небольшие объемы влажного песка могут удерживаться в любых формах. Однако при заполнении пор жидкостью чистые несцементированные пески часто приобретают свойство текучести (пльвуны) — они свободно текут, подчиняясь поведению насыщающей их жидкости.

Значительно прочнее связи в глинистых породах между их структурными элементами — коллоидными частицами, частицами более крупных (0,001—0,05 мм) размеров, окруженными коллоидными

пленками — гелями, и агрегатами частиц, причем сцепление внутри агрегатов больше, чем между агрегатами. По Н. Я. Денисову [67], прочность глинистых пород определяется количеством и прочностью связей между слагающими их частицами в единице объема. Поэтому прочность глинистых осадков увеличивается с повышением их плотности, что было, например, показано для глин нефтеносных районов Азербайджана С. М. Кулиевым, Ф. А. Аскеровым и А. А. Шамсиевым [96]: при плотности $1,734 \text{ г/см}^3$ прочность на сжатие оказалась $54,5 \text{ кгс/см}^2$, а при $2,234 \text{ г/см}^3$ — 185 кгс/см^2 . Глинистые частицы взаимодействуют вследствие проявления молекулярных сил. «Интенсивность этого взаимодействия зависит от характера частиц, от расстояния между ними; она возрастает вместе со сближением частиц и увеличением числа их контактов и площади контактов. Коллоидные частицы, имеющие размеры менее $0,001 \text{ мм}$, способны адсорбироваться на поверхности более крупных частиц, в результате чего создаются пленки — гели. Эта адсорбция происходит под влиянием сил молекулярного притяжения. Коллоидные частицы способны к взаимному прилипанию, проявляющемуся в виде сцепления. Аналогичная реакция между пленками — гелями приводит к возникновению каркаса породы» [67, стр. 10]. Коллоидные частицы играют роль мостиков, соединяющих более крупные частицы, между которыми благодаря неровностям их поверхностей не могут действовать межмолекулярные силы.

Связи между структурными элементами полнокристаллических пород при наличии эпитаксиальных контактов [34] между кристаллами достаточно прочны и в принципе не отличаются от межатомных (межмолекулярных) связей в кристаллических решетках. Однако контакты между кристаллами могут быть и не эпитаксиальными, и в таком случае никакого сцепления кристаллов за счет межатомных (межмолекулярных) связей происходить не будет. Естественно, чем больше эпитаксиальных контактов и чем больше их площади, тем прочнее будет сцепление структурных элементов породы. Следующим фактором, обеспечивающим прочность сцепления структурных элементов кристаллической или обломочной породы, может быть цемент, причем прочность породы зависит как от структуры и внутренних связей структурных элементов, так и от возможного наличия эпитаксиальных контактов между кристаллическими зернами породы и кристаллами ее цемента. Кроме того, в сцеплении кристаллических зерен немаловажную роль играет форма их контактов. Например, контакты в виде шунтовых или шиповых столярных сочленений могут сообщать породе прочность даже при отсутствии эпитаксиальных контактов и цемента. Поскольку структурные особенности, главным образом характер и прочность связей структурных элементов, могут варьировать в весьма широких пределах для одного и того же класса породы (например, гранитов), то и прочность породы также может изменяться в широких пределах. Так, временные сопротивления сжатию украинских, карельских, ленинградских и кавказских гранитов, по Б. П. Бели-

кову [9], изменяются в пределах 1700—3380 кгс/см². Заметим, что механические свойства не столь резко разнятся для полнокристаллических пород различного минерального состава и что, следовательно, прежде всего структура, а не минеральный состав определяет прочность породы. Так, для лабрадоритов эта константа составляет 1880—2600 кгс/см², а для габбро 2840—3090 кгс/см², для кварцевых порфиров 880—4090 кгс/см², мрамора 780—3680 кгс/см², кварцитов 2900—5570 кгс/см² [10]. Столь высокую прочность кварцитов можно поставить в связь с их мономинеральностью и, вероятно, весьма широким развитием эпитаксиальных контактов. Пористость горных пород уменьшает их прочность. Это и естественно, так как с увеличением числа и объема пор уменьшаются площади контактов между зёрнами, количество и прочность цементной массы и т. д.; кроме того, с увеличением пористости уменьшается площадь «твёрдого сечения» породы и, следовательно, уменьшается ее общее сопротивление любым внешним усилиям. Такая зависимость прочности породы от ее пористости доказана, в частности, экспериментально для различных типов известняков [75, 141].

Таким образом, связность породы (способность ее не распадаться на структурные элементы и устойчиво сохранять свою структурную решетку) и ее прочность зависят от характера связей и отношений между структурными элементами, т. е. от структуры. Структурная решетка и характер связей, удерживающих структурные элементы в определенном порядке, исчерпывают содержание понятия структуры, которая может исследоваться с большей или меньшей «глубиной», т. е. на различном количестве ярусов модели горной породы.

Слоистые системы и наслоенные геологические формации

Слоистая система — это прежде всего сложное геологическое тело, которое должно быть выделено по некоторому фиксированному свойству или списку свойств и поэтому должно иметь границы.

Структура слоистой системы может быть охарактеризована структурной решеткой и характером связей между элементами. Если представить себе, что слои, образующие слоистую систему, протягиваются в горизонтальном направлении на бесконечные расстояния или, во всяком случае, расстояния, весьма превышающие их вертикальные протяженности (мощности), а горизонтальными смещениями центра масс слоев относительно друг друга можно пренебречь, то структурную решетку слоистой системы можно представить в виде вертикального ряда точек, равно отдаленных от ограничивающих поверхностей соответствующего слоя. Для таких одномерных структурных решеток, по аналогии со структурными решетками горных пород, можно ввести понятие о правильной решетке (с одинаковыми расстояниями между центрами масс слоев), о правильной ритмичной решетке (при правильной повторяемости асимметричных групп точек вдоль оси решетки), а также применять понятие плотности и нерегулярности решетки.

Связи и отношения между структурными элементами (слоями) с переходом к планетарному уровню организации вещества становятся совершенно иными, чем в минералах и горных породах. Во-первых, пространственные отношения слоев определяются тем, что верхняя поверхность каждого нижнего слоя является одновременно нижней поверхностью покрывающего его верхнего слоя. В связях слоев друг с другом определяющими являются не силы сцепления (межатомные, коллоидные и т. д.), а гравитационные связи, характерные для планетарного уровня организации вещества.

К структурам наслоенных формаций полностью применимо все то, что было сказано о структурах горных пород, в частности к ним применимы понятия нерегулярности, плотности и несимметричности структурных решеток. Для наслоенных формаций, так же как для минералов или горных пород, характерна периодичность — неизменная повторяемость в пределах областей распространения формации некоторой элементарной группы ее структурных элементов. Если такая периодичность не устанавливается, то область распространения формации нельзя проследить и, следовательно, нельзя выделить формацию как геологическое (формационное) тело. Иными словами, наличие периодичности — необходимое условие выделения наслоенных формаций. Для того чтобы определить наслоенную формацию, достаточно указать состав, структуру и размеры элементарной группы.

Множество узлов структурной решетки слоистой системы или наслоенной геологической формации в одномерном пространстве будет мало отличаться от множества границ между слоями, обозначаемых также точками. Структурная решетка в данном случае мало выразительна и может быть заменена системой границ. Однако нам важно сохранить понятие о структурной решетке и в этом случае. Во-первых, это необходимо для единообразия в представлении структуры в различных геологических объектах (минералы, горные породы, слоистые системы и т. д.), во-вторых, потому, что при переходе к трехмерному пространству структурная решетка может оказаться очень полезной для различения типов слоистых систем, представляемых в трех измерениях. Трехмерную структурную решетку можно изобразить в виде ее горизонтальной проекции, причем каждой точке (узлу решетки) приписать порядковый ее номер в последовательности слоев и ее высоту относительно некоторого горизонтального уровня. Тогда, например, среди слоев, выполняющих впадины, легко будет различать симметричные и асимметричные (различных разновидностей) структуры двумерных или трехмерных моделей слоистых систем.

Осадочная оболочка

Структурно-вещественные ассоциации более крупные, чем слоистые системы и наслоенные геологические формации, выступают как структурные элементы осадочной оболочки или отдельных ее частей, рассматриваемых как системы. К ним относятся формационные ряды,

а также геосинклинали, геоантиклинали, платформы, срединные массивы и т. д.

Характеристика структур осадочной оболочки и других крупных систем оказывается несколько иной, чем характеристика структур минералов, горных пород и даже наслоенных толщ. Если для всех последних структурная решетка является периодической и представляет собой как бы бесконечную постройку, слагающуюся из элементарных групп, то в крупных системах эта закономерность не имеет места. Они слагаются всегда немногочисленными структурными элементами, само количество которых недостаточно для периодического строения структурной решетки; их структурная решетка является обычно существенно нерегулярной. Такие различия структур можно связать по крайней мере с тремя обстоятельствами.

Во-первых, эти различия связаны с относительными размерами пространства. Действительно, пространства роста кристаллов настолько велики, что их элементарные группы (структурные элементы) могут уложиться в объеме индивидуального кристалла миллионы или миллиарды раз. Пространства, занимаемые телами, сложенными горной породой, допускают повторение ее элементарных групп тысячи или миллионы раз. В пространствах наслоенных формаций или слоистых систем их элементарные группы укладываются тысячи, сотни или десятки раз. Отношение объема системы к объему элементарной группы является как бы мерой степени регулярности структурной решетки. Решетки, обладающие наибольшей правильностью у кристаллов, постепенно теряют ее при переходе к горным породам и наслоенным геологическим формациям. При переходе же к крупным системам это отношение становится критически малым. Относительные размеры крупных систем становятся совершенно недостаточными для формирования регулярной периодической структурной решетки. В этом легко убедиться, построив, например, структурную решетку для Алтае-Саянской геосинклинальной области, в качестве структурных элементов которой могут рассматриваться отдельные геосинклинали (Западно-Саянская и др.), прогибы (Кузбасский, Минусинский и др.) и т. д., для Верхоянской геосинклинальной области, в качестве структурных элементов которой выступают геосинклинальные системы и срединные массивы, для осадочной оболочки континентов, структурными элементами которой могут быть древние платформы и разделяющие их геосинклинальные области. С той же целью можно рассмотреть какой-либо формационный ряд, например хорошо изученный Зилаирский. Во всех этих случаях число структурных элементов будет около десяти или немногим больше.

Во-вторых, различие структур связано с относительной продолжительностью времени формирования системы и ее структурных элементов. Рассуждения здесь в общем такие же, как и в случае пространства. Роль относительной длительности времени формирования может быть проиллюстрирована примером роста кристаллов или формирования слоистых толщ (систем). В обоих случаях отно-

шения длительности времени формирования системы и ее элементарной группы (или структурного элемента) достаточно велики. При переходе к крупным системам положение существенно меняется. Длительность формирования осадочной оболочки Земли можно приблизительно оценить в 4—5 млрд. лет, длительность же формирования ее структурных элементов — древних платформ — по крайней мере в 2—2,5 млрд. лет, длительность формирования Верхояно-Чукотской геосинклинальной области, если ее рассматривать как раздробленную и опущенную часть Северо-Азиатского кратона, — в 2—2,5 млрд. лет, длительность же формирования слагающих ее геосинклинальных систем не менее чем в сотни миллионов лет и т. д. При такой стесненности во времени структурные элементы крупных систем просто не могли «успеть» организовать в сколько-нибудь регулярные структурные решетки.

В-третьих, различие структур может быть связано с физическими условиями формирования системы. Рост кристалла осуществляется в определенных физических (температура, давление) и химических (концентрация ионов) условиях, которые остаются более или менее стабильными в течение всего процесса. Формирование горных пород, особенно кристаллических, обусловлено в значительной степени тем же; однако в формировании горных пород, особенно обломочных, значительную роль играет также воздействие гравитационного поля Земли, влияющее на порядок выделения минералов и расположение их зерен. При образовании слоистых систем и наслоенных формаций в качестве главного постоянно действующего фактора выступает гравитационное поле Земли, с которым связано слоистое распределение вещества, последовательность слоев, ритмичное строение слоистых толщ. В качестве питающей среды (что примерно аналогично химическим условиям формирования минерала) выступает геологическая обстановка: совокупность форм (источники сноса), наличие и степень проницаемости коры (источники эндогенного вещества), климатический фактор и т. д. Можно считать, что в процессе формирования данной слоистой системы или наслоенной формации геологическая обстановка должна сохранить некоторую относительную стабильность, иначе вообще не возникает органично целостной системы.

При переходе к крупным системам структурные элементы своими различиями и пространственными последовательностями не отражают существования каких-либо стабильных физических условий, в которых они формировались. Они не отражают одинаковости воздействия на их формирование гравитационного поля Земли или другого столь же общего для всей поверхности Земли фактора, а скорее отражают различия этих воздействий и неоднородности (тектоническую, климатическую и т. д.) поверхности Земли. Неоднородности эти могли быть весьма изменчивы во времени, и поэтому соотношения структурных элементов осадочной оболочки Земли могли претерпевать существенные изменения. Этот процесс мог завуалировать их связи, и поэтому структуру осадочной оболочки мы часто рассма-

триваем лишь как совокупность пространственных отношений ее структурных элементов. Поэтому осадочная оболочка представляется нам как бы неполной системой по сравнению с кристаллами, горными породами и наслоенными формациями, структуры которых распознаются не только по пространственным отношениям, но и по физическим связям.

В силу высказанных соображений к исследованию структур крупных систем и, в частности, структуры осадочной оболочки вполне применим геометрический подход, который предусматривает выражение структуры через форму и относительные размеры структурных элементов, структурную решетку, обозначаемую их центрами масс, логическую структуру, отражающую бинарные отношения элементов и ориентированность. Такое исследование структуры более сложно, но оно необходимо для нерегулярных систем, так как они весьма разнообразны и их классификация встречает значительные трудности. Здесь может идти речь не только о крупных структурах, но и о структурах любого другого порядка, например о структурах залежей и месторождений полезных ископаемых.

Геометрический подход в исследовании геологических структур

Определение структуры геологического тела

При геометрическом подходе под структурой сложного или составного геологического тела с безусловными границами понимается взаимное расположение его структурных элементов. Например, на рис. 2 изображена стратиграфическая колонка, моделью которой служит одномерное геологическое пространство. В этом пространстве по литологическим свойствам выделено резкостное одномерное тело (свита А), состоящее из девяти простых резкостных тел (структурных элементов) — слоев. Структура тела А понимается как взаимное расположение этих девяти элементов. Для любой группы смежных структурных элементов, представляющих собой составное тело, также может быть определена структура. Так, структура ритма R_a определяется взаимным расположением структурных элементов IV, V, VI, а структура ритма R_b — взаимным расположением элементов II, III, IV.

Сложные тела и их структурные элементы изображаются графически как в одномерном, так и в двумерном геологическом

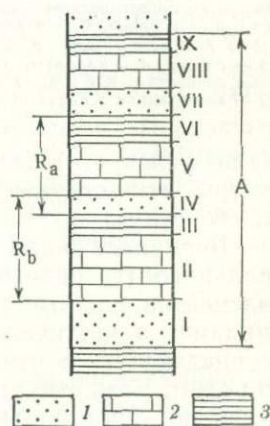


Рис. 2. Резкостное составное тело А в одномерном геологическом пространстве (колонка) и его структура
1 — песчаники; 2 — известняки; 3 — глины. Римские цифры — номера структурных элементов

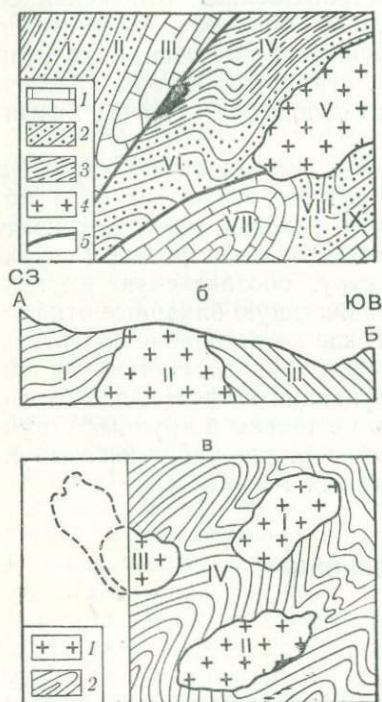


Рис. 3. Сложные резкостные тела в двумерном геологическом пространстве (а и в — в плане, б — в разрезе)

К а: 1 — известняки, 2 — песчаники, 3 — глины, 4 — граниты, 5 — разрывные смещения. К б и в: 1 — граниты, 2 — вмещающие осадочные породы

(или условного) тела не могут быть установлены основные параметры его структурных элементов, не может быть определена и его структура.

Возникает вопрос, нельзя ли для определения структуры произвольного (условного) тела использовать в качестве структурных элементов простые тела, частично ограниченные резкостными границами, а частично имеющие произвольную (условную) границу, совпадающую с отрезком произвольной (условной) границы тела в целом. Если структура представляется таким образом, то при перемещении произвольных границ или условных границ (например, в связи с изменением процедуры их выделения) контуры (форма, размеры, положение центра масс, ориентировка) используемых в качестве структурных элементов простых тел будут изменяться и вместе с тем будет меняться структура. Структура, определенная таким образом, т. е. необъективно и неоднозначно, не может рассматриваться как характеристика, по которой можно сравнивать друг

пространстве, в последнем случае в виде плана (рис. 3, а, в) или разреза (рис. 3, б). В трехмерном геологическом пространстве они могут быть представлены лишь объемными моделями.

Если имеется в виду сложное тело с условной или произвольной границей или вообще любая часть геологического пространства, то для них, строго говоря, структура не может быть в точности определена. Возьмем произвольное двумерное геологическое тело (участок двумерного геологического пространства) в виде планшета геологической съемки (см. рис. 3, а) или профильного разреза, произвольно ограниченного вертикалями А и Б и некоторой глубиной (см. рис. 3, б). Структурные элементы (I—IX на рис. 3, а и I—III на рис. 3, б) уходят за пределы тела, полные размеры этих элементов, их форма, положение центра масс и ориентировка в пространстве остаются невыясненными. На рис. 3, в показаны возможные изменения в положении центра масс и ориентировке элемента III, а также возможные размеры и форма при разных вариантах его продолжения за произвольную границу. Поскольку в случае произвольного

с другом и классифицировать различные геологические тела и различные части геологического пространства.

Если отбросить все структурные элементы, не целиком принадлежащие к рассматриваемому условному или произвольному телу (структурные элементы III и IV на рис. 3, в), и определить структуру такого тела, как взаимное расположение структурных элементов, целиком ему принадлежащих, то, по-видимому, придется признать, что структура произвольного тела (см. рис. 3, в) определяется двумя гранитными массивами (структурные элементы I и II), удаленными друг от друга, а у тела (см. рис. 3, а) структуры вообще нет. Однако правильнее сказать, что для обоих этих тел структура не может быть строго определена.

Для условного (произвольного) тела или любой части геологического пространства, содержащего несколько структурных элементов, целиком ему принадлежащих, структура может быть определена в границах составного тела, объединяющего эти структурные элементы. Такая структура будет представлять структуру рассматриваемой части пространства в пределах выделенного внутри нее наибольшего составного тела. Только в таком смысле можно говорить о структуре условного (произвольного) тела или части геологического пространства. Например, на рис. 4 структура изображенной на нем части геологического пространства может быть определена как структура составного тела, объединяющего структурные элементы III, V, IX, X, XI, XVII, элементы же I, II, IV, VI—VIII, XII—XVI, XVIII, XIX структуру не определяют. Поскольку структура произвольной части пространства может быть однозначно определена только через структурные элементы, целиком ему принадлежащие, под структурой любого тела или любой части пространства с учетом сделанных оговорок будем понимать взаимное расположение структурных элементов, целиком ему принадлежащих.

Структурные элементы и включения

При определении структуры должны приниматься во внимание не все простые тела, составляющие то или иное сложное или составное тело, а только тела не меньше определенного размера. Например, при выяснении структуры материка важно выделять тела таких размеров, как платформы и геосинклинальные области, в то время как тела значительно меньших размеров, такие, как штоки, дайки, соляные массивы, нефтяные залежи, представляют несущественные детали и не принимаются во внимание. Поэтому под с т р у к т у р -

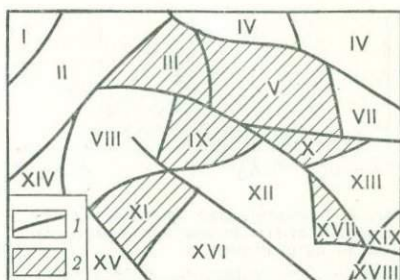


Рис. 4. Дизъюнктивные структуры

1 — разрывные смещения; 2 — структурные элементы, целиком принадлежащие сложному телу

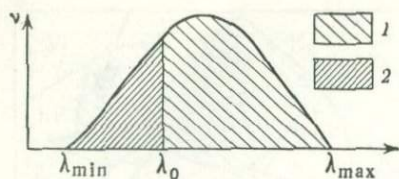


Рис. 5. Распределение простых тел некоторой части геологического пространства по их размерам

Области гистограммы, отвечающие: 1 — структурным элементам, 2 — включениям

ными элементами сложного (составного) тела условимся понимать выделяемые в его пределах на основе элементаризации по некоторому фиксированному списку свойств простые безусловные тела не меньше определенного размера (λ_0). Простые тела по размерам меньше λ_0 не являются структурными элементами и обозначаются как включения. Чтобы не усложнять процесс описания структуры и иметь возможность

сравнивать различные геологические структуры, необходимо условиться, что λ_0 выбирается таким образом, что все структурные элементы являются однопорядковыми. Вопрос о порядках размеров геологических тел был рассмотрен выше.

Если в рассматриваемой части геологического пространства дано распределение простых тел по их размерам (рис. 5), то область ($\lambda_0 - \lambda_{\max}$) соответствует структурным элементам, а область ($\lambda_0 - \lambda_{\min}$) — включениям. Если же при определении порядков мы условимся, что линейные размеры тела любого данного порядка могут различаться не более чем в 10 раз, то $\lambda_0 \geq \frac{\lambda_{\max}}{10}$.

Порядок величины λ_0 будем называть порядком структуры; иными словами, порядок структуры определяется порядком наименьшего структурного элемента.

Кроме порядка структуры, отражающего размеры структурных элементов, важно различать также структуры с различным количеством структурных элементов. Это существенно при описании структур. Так, в структурах с небольшим количеством элементов может быть описан каждый структурный элемент и отношения всех элементов, структуры же с большим количеством элементов могут описываться лишь в среднем или статистически.

Основные свойства и геологическая природа структуры

Структура, поскольку она определяется взаимным расположением элементов, не зависит от положения тела как целого в пространстве, т. е. одинаковой структурой могут обладать геологические тела, например нескладчатые слоистые толщи, характеризующиеся различными элементами залегания. Структура не зависит также от списка свойств, по которому выделяются простые тела, т. е. одинаковой структурой могут обладать сложные геологические тела или части геологического пространства, элементаризованные по разным спискам свойств. Слоистая структура может быть установлена по различным спискам свойств: по литологическим, по плотности и т. д. Вместе с тем структура имеет смысл только при фиксированной совокупности свойств и определенном значении λ_0 .

Совокупность свойств, по которым выделены структурные элементы, следует называть геологической природой структуры. Структура может быть, например, литологической, плотностной, биостратиграфической или другой природы. Если не учитывать λ_0 , то структура не зависит от абсолютных размеров структурных элементов, т. е. одинаковой структурой могут обладать тела различного размера.

Структуры с учетом дизъюнктивных границ и дизъюнктивные структуры

При определении структуры отмечалось, что структурные элементы выделяются на основе элементаризации пространства по фиксированному списку свойств. Из этого следует, что если мы имеем простое резкостное нарушенное тело, нарушенный слой, разбитый на блоки, смещенные, но не разъединенные по сбросам (слой I на рис. 6), то такой слой будет представлять собой единый структурный элемент. В том же случае, когда блоки, на которые разбит слой, разъединены, то он распадается на несколько структурных элементов (IIа, IIб, IIв на рис. 6). Однако для характеристики структуры в случаях, подобных изображенным на рис. 6, может оказаться удобным считать каждый блок, независимо от того, соприкасается он или нет с ближайшим блоком того же слоя, самостоятельным структурным элементом (например, структурные элементы Ia, Ib, Ib, IIа и т. д.).

Для того чтобы иметь возможность определять структуру с учетом дизъюнктивных границ, введем понятие об элементаризации пространства с учетом дизъюнктивных границ. Для того чтобы провести такую элементаризацию, надо прежде всего элементаризовать пространство по фиксированному списку свойств, а затем в эту элементаризацию включить некоторые, выбранные по геологическим соображениям, дизъюнктивные границы, возводя их в ранг резкостных границ. Тогда каждый блок каждого слоя будет рассматриваться как структурный элемент (см. рис. 6). Такие структурные элементы будем называть структурными элементами с учетом дизъюнктивных границ. Структурой с учетом дизъюнктивных границ назовем взаимное расположение таких структурных элементов.

Наконец, при решении ряда геологических задач, например, связанных с изучением трещинной

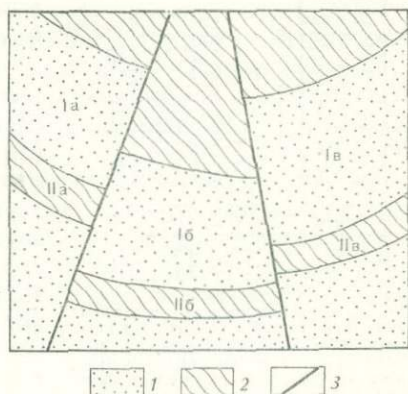


Рис. 6. Структуры сложных тел с учетом дизъюнктивных границ

1 — песчаники; 2 — глины; 3 — разломы

тектоники и систем разломов, может возникнуть необходимость в определении структуры, образованной только дизъюнктивными границами и телами, без учета резкостных тел, выделяемых по спискам свойств. В таком случае речь будет идти о дизъюнктивной структуре, как о взаимном расположении дизъюнктивных структурных элементов, представляющих собой дизъюнктивные тела, рассматриваемые только с точки зрения геометрических характеристик и имеющих размеры не менее λ_0 . Примером дизъюнктивных структур могут служить различные системы блоков (см. рис. 6).

Для полноты представлений о геологической структуре и по аналогии с геологическими границами и геологическими телами можно ввести понятия об условных геологических структурах первого, второго и третьего типов и о соответствующих структурных элементах.

Описание геологических структур

При описании простых, т. е. не имеющих внутренних границ, тел достаточно указывать их размеры, форму, положение в пространстве (ориентировку и положение центров масс) и состав, а при описании сложных тел необходимо указывать, кроме того, геологическую структуру и вещественную ассоциацию. Поскольку при описании сложного тела его размеры, форма, положение в пространстве и состав рассматриваются особо, принимается, что структура сложного тела не зависит от размеров тела и от его ориентации (инвариантна относительно преобразования подобия и движения), а также от состава. Иными словами, при описании структур безразлично, какую ориентировку имеет сложное тело, структура которого описывается, и каковы абсолютные размеры и состав структурных элементов.

На рис. 7 изображены разрезы двух пачек (сложных геологических тел), состоящих из равного количества слоев (структурных элементов). Отношение мощностей, т. е. геометрических характеристик, одноименных структурных элементов постоянно. Сохранена и последовательность слоев в пачках, т. е. эквивалентны взаимоотношения и взаимное расположение структурных элементов (ориентировка последних не рассматривается, поскольку разрезы отражают строение тел в одномерном пространстве, где тела представляют собой отрезки прямых). Структуры таких двух

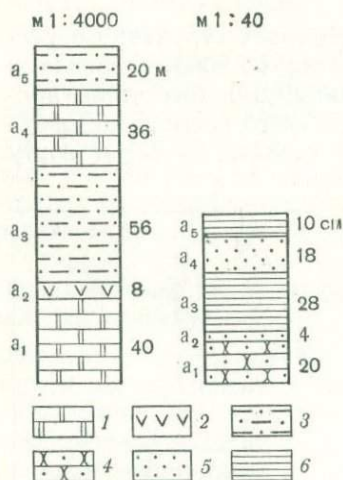


Рис. 7. Литологические колонки двух пачек, обладающих эквивалентной структурой. Слева от колонки указаны номера структурных элементов, справа — мощность пласта (размер структурного элемента) 1 — доломиты; 2 — тальциты; 3 — алевролитистые аргиллиты; 4 — песчаники; 5 — алевролиты; 6 — аргиллиты

пачек (сложных геологических тел), состоящих из равного количества слоев (структурных элементов). Отношение мощностей, т. е. геометрических характеристик, одноименных структурных элементов постоянно. Сохранена и последовательность слоев в пачках, т. е. эквивалентны взаимоотношения и взаимное расположение структурных элементов (ориентировка последних не рассматривается, поскольку разрезы отражают строение тел в одномерном пространстве, где тела представляют собой отрезки прямых). Структуры таких двух

тел следует считать эквивалентными. Ясно, что структуры не будут различными, если рассматриваемые пачки по-разному расположены в пространстве. Таким образом, два сложных геологических тела, которые различаются между собой только вещественным составом, положением в пространстве и абсолютными размерами, имеют одинаковую структуру.

С учетом существующих определений понятий «структура» в других отраслях знаний (математика, химия, кристаллография и т. д.) и в геотектонике было разработано развернутое определение понятия «геологическая структура». На основе этого определения было установлено, что формальное описание геологической структуры должно сводиться в общем случае к определению: 1) перечня структурных элементов, 2) логической структуры (бинарных отношений структурных элементов), 3) решетки и 4) ориентации.

Существующие способы и методика описания структур

Для того чтобы выработать правила формального описания, нам следует попытаться оценить правильность и полноту существующих способов описания структуры, т. е. рассмотреть, каким образом описываются структуры в настоящее время в геологии, какие характеристики и в какой степени при этом учитываются. Следует также обратить внимание на условия, при выполнении которых описание геологической структуры будет иметь объективный и однозначный смысл.

В тектонике характеристика (описание) структуры геологических тел всегда занимала и занимает видное место. В качестве структурных элементов здесь выступают слои, толщи, формации осадочных и вулканогенных пород, интрузивные массивы, структурные этажи и ярусы, блоки, ограниченные разломами, а также геосинклинали, геоантиклинали, геосинклинальные системы и области, платформы и т. п., представляющие собой геологические тела, характеризующиеся определенными размерами, формой и вещественным составом.

Складчатые формы (флексуры, отдельные антиклинальные и синклинальные складки, антиклинории и синклинории) в соответствии с данным ранее определением не являются структурными элементами.

Указанные выше четыре характеристики геологической структуры наиболее полное выражение находят на геологических, структурных и тектонических картах, разрезах, блок-диаграммах и стратиграфических колонках в том случае, если на этих графиках выделяются структурные элементы по определенному фиксированному списку свойств. Однако в действительности на геологических картах, колонках и т. д. границы между изображаемыми телами иногда проводятся по различным признакам. На одной и той же карте одни границы могут быть проведены по петрографическому составу, другие — по цвету, появлению или отсутствию некоторых специфических компонентов; показываются биостратиграфические границы,

устанавливаемые на основании изучения органических остатков, и др. Иными словами, изображаемые границы имеют часто различную геологическую природу и не могут поэтому во всей их совокупности служить основой для описания структуры. Пользование картами для описания структуры затрудняется еще отсутствием определенных правил описания формы структурных элементов, их взаимоотношений, положения центров масс и т. д. Последнее не позволяет подойти к объективному сравнению геологических тел по их структуре.

Из сказанного следует, что геологические графики (карты, разрезы и т. д.) могут служить моделями сложных геологических тел или частей геологического пространства, пригодными для использования на ЭВМ, при соблюдении двух условий. Во-первых, если на этих графиках правильно выделены структурные элементы; во-вторых, если существуют правила описания структуры, например, по ее четырем указанным выше характеристикам. Необходимость выработки таких правил ясна при ознакомлении с существующими в геологической литературе описаниями структуры, которые нередко страдают существенной неполнотой и громоздкостью.

В петрографии геометрический подход исследования структуры применим лишь к небольшим участкам породы обычно в пределах шлифа [40, 74, 106, 130, 180].

В некоторых случаях оказывается удобным использование сравнения структур лишь по одной или нескольким из четырех характеристик, а не по их сумме (перечень структурных элементов, логическая структура, решетка, ориентация).

1. Перечень структурных элементов определяет структурные элементы с точки зрения геометрических характеристик. Формальное определение перечня возможно лишь на основе предварительного построения классификации форм структурных элементов. В такой классификации: а) каждый класс должен быть заполнен, б) ни один элемент множества не должен попадать в два класса, в) сумма классов должна давать классифицируемое множество.

Можно различать, например, тела, вытянутые в одном (удлиненные — шток, диапир), двух (плоские — слой, дайка) и трех (изометричные — блок, массив) направлениях.

Заранее следует выбрать и относительный масштаб измерений размеров тел и определить, какие размеры тел будут считаться различными.

В перечне структурных элементов указывается их общее количество и характеризуется каждый класс форм и размеров с точки зрения количества элементов, в него входящих. Количество элементов, относящихся к тому или иному классу, целесообразно выражать в относительных величинах, приняв общее количество за единицу. Такой прием облегчает сравнение структур с разным количеством структурных элементов. Поскольку важно знать не только, какая часть структурных элементов от их общего количества относится к тому или иному классу форм, но и какие относительные размеры

характерны для этой части, характеристику классов удобнее представлять в виде таблицы.

При описании перечня структурных элементов сложного геологического тела в одномерном пространстве характеристика классов упрощается, ибо все структурные элементы имеют лишь одну форму.

2. Логическая структура определяет отношения между структурными элементами. Необходимо указать все случаи отношений между структурными элементами, которые будут считаться различными. Первоначально можно ограничиться бинарными отношениями. Следует различать отношения: совпадения, включения, пересечения, соседства и удаленности. Логическая структура может быть представлена в виде матрицы. Поскольку в слоистой структуре каждый элемент совпадает только с самим собой, соседствует только с выше- и нижележащим и удален от всех остальных, матрицы любых слоистых структур должны быть подобны. По их диагоналям расположены символы, означающие отношения совпадения, по двум линиям, параллельным этой диагонали и соседствующим с ней, — символы, означающие отношение соседства. Все остальные знаки в матрице символизируют удаленность элементов (это относится только к описанию слоистой структуры в одномерном пространстве, ибо в двух- и трехмерном отношении слоев могут быть более сложными).

3. Решетка определяет положение центров масс структурных элементов. Предварительно следует указать: а) способ выбора системы координат, жестко связанной с геологическим объектом, структура которого определяется, б) процедуру определения положения центров масс структурных элементов и в) масштаб измерений.

В двумерном пространстве положение центра масс структурного элемента определяется двумя координатами, в одномерном — одной. Определение центров масс следует проводить в предположении однородности тела и составляющих его структурных элементов, поскольку по определению в геометрическом смысле структура не зависит от вещественного состава тела.

4. Ориентация определяет ориентировку каждого структурного элемента относительно системы координат, выбранной при описании решетки. Предварительно следует указать процедуру определения ориентировки структурного элемента и масштаб измерения угловых величин. Ориентировку структурного элемента целесообразнее определять по положению максимального (или минимального) диаметра его выпуклой оболочки относительно осей координат. Так же, как и описание логической структуры, описание решетки и ориентации может быть представлено в табличной форме. Этот способ описания структуры имеет целью обеспечить однозначность и объективность описания. В частности, использование относительных величин при описании отдельных характеристик обеспечивает инвариантность описания относительно преобразования движения и подобия. Сведение описания к серии таблиц может служить основой применения математических методов и ЭВМ в структурных исследованиях.

Слоистая структура

Основные определения

Обычно слоистость определяется поверхностями напластования и литологическими разделами, наблюдаемыми в обнажениях или в разрезах скважин. Однако здесь речь будет идти не только о слоистой структуре, визуально определяемой по литологическим (петрографическим) и биостратиграфическим признакам. Уже применение микроскопа позволяет распознавать невидимые простым глазом различия петрографического состава и, таким образом, устанавливать положение разделов и выделять слои, которые не могут быть выделены визуально. И не только по литологическим признакам можно выделять слои. При разведке нефтяных и газовых месторождений по замерам электрического сопротивления ρ выделяют, например, слои высокого сопротивления, слои низкого сопротивления, реперные горизонты и т. д. Измеряя скорости прохождения упругих волн, можно выделить слоистую структуру иной (сейсмической) природы с «гранитным», «базальтовым» и другими слоями, названия которых, как теперь точно установлено, чисто условны и не отражают петрографического состава этих слоев. В равной мере может быть выделена слоистая структура по биостратиграфическим (палеонтологическим) признакам. Это та структура, которую мы можем прочесть на мелкомасштабных геологических картах. Например, на геологической карте Кавказа отделы юрской и меловой систем, представляющие собой крупные слои, выделяются по биостратиграфическим признакам, тогда как литологический состав в пределах этих слоев меняется в весьма широком диапазоне.

Из сказанного следует, что слоистая структура может выделяться по различным признакам, т. е. иметь различную природу, и что она может устанавливаться не только визуально, но также путем инструментальных измерений значений некоторых физических свойств горных пород или по каким-то особым признакам этих пород, например по одинаковому возрасту содержащихся в них органических остатков. Если понимать слоистую структуру в таком обобщенном смысле, то она свойственна земному шару в целом (сферическая слоистая структура), земной коре, осадочной оболочке и отдельным толщам, участвующим в ее строении.

Слоистая структура охватывает огромный диапазон от первого (наиболее мощный слой — мантия мощностью 2900 км) до десятого порядка размеров входящих в нее слоев. К одиннадцатому порядку относится микрослоистость (слои толщиной менее миллиметра). Слой и любая совокупность смежных слоев, которая объединена об-

щими значениями каких-либо свойств вещества и, следовательно, может быть также выделена как слой, представляет собой элемент слоистой структуры.

Слоистая структура выделяется по физическим, петрографическим (литологическим), биостратиграфическим и другим свойствам. Она связана с гравитационным распределением вещества в геологическом пространстве. Так, формирование слоистой структуры может происходить в результате фазового изменения вещества на глубине, глубинных перемещений (течения) вещества, гравитационной дифференциации вещества при застывании плутонов (например, стратифицированность пород Ловозерского плутона, согласно представлениям Н. А. Елисеева, 1941 г.), расплывания вещества на поверхности Земли в виде лавовых и грязевых потоков, осаждения из растворов, распределения вещества на поверхности Земли водными и воздушными потоками и ледниками, расселения организмов и осаждения космических частиц на поверхности планеты.

Слоистая структура (слоистость), создаваемая глубинными изменениями и перемещениями вещества в земной коре и мантии, повидимому, может быть в известной степени обратимой, т. е. может отчасти корректироваться в связи с изменением гравитационного режима и тогда, когда налицо определенные условия, обеспечивающие подвижность вещества, позволяющую ему реагировать на эти изменения. Об этом, например, говорит соответствие между неотектоническими движениями и гравитационным полем, свидетельствующее, что современное распределение вещества в глубоких недрах может быть связано с новейшими процессами.

Существование слоистых структур «неподвижных» и «подвижных» относительно стратиграфических границ указывает на необходимость использования принципа специализации во всех построениях, касающихся слоистой структуры (корреляция слоев и поверхностей разделов, интерпретация слоев, установленных по одной группе свойств, в качестве тел, охарактеризованных другими свойствами, и т. д.).

Обращая внимание на гравитационную природу слоистости, следует отметить, что слоистое распределение вещества может иметь в отдельных случаях иное происхождение. Например, сланцеватость, возникающая под влиянием тектонического давления (стресса) и заключающаяся в ориентированном (плоскостном или линейном) расположении минеральных зерен, иногда сопровождается инъекциями магмы по трещинам вдоль направления сланцеватости. В таком случае образуется слоистая структура, представленная чередованием слоев различного петрографического состава. Сюда же относится слоистость натечных форм, кольца Лизеганга и некоторые другие виды слоистости, обусловленные особенностями кристаллизации магматических расплавов и вещества гидротермальных растворов.

Выделение и описание слоистой структуры Земли лежит в основе тектонических исследований, так как, во-первых, только путем

изучения слоистой структуры можно установить последовательность событий, определяющих развитие структуры осадочной оболочки, во-вторых, потому, что вся совокупность тектонических дислокаций может быть представлена как нарушение слоистой структуры. Поэтому, если мы хотим описать и исследовать тектонические дислокации, структуры осадочной оболочки Земли и изложить основные на этих исследованиях представления о тектонических движениях и их причинах, мы должны с достаточной подробностью рассмотреть слоистую структуру в различных ее аспектах.

Определение понятия «слой»

В геологической литературе известно большое количество определений понятия слоя, выделяемого по петрографическим признакам в осадочной оболочке.

Г. Д. Ажгирей [1] слоем называет, например, геологическое тело плитообразной или близкой к плитообразной формы, сложенное породами определенного состава и ограниченное двумя более или менее четкими поверхностями, отделяющими его от подстилающего и налегающего (покрывающего) слоя.

В определении В. В. Белоусова [15] вводятся ограничения размеров (мощность) слоя. Им «под слоем или пластом понимается образованное какой-либо осадочной породой тело, имеющее значительную горизонтальную протяженность и относительно малые вертикальные размеры (толщину или мощность). Толщина (мощность) слоя бывает от нескольких сантиметров до нескольких метров, тогда как в горизонтальных направлениях слой может быть прослежен на сотни метров, на километры и даже больше» [15, стр. 8].

Во многих других работах понятие «слой» (или «пласт») также определяется через плитообразную, пластообразную форму или через соотношение мощности и горизонтальной протяженности [165 и др.].

В некоторых определениях введено требование одновозрастности. Так, Ю. А. Жемчужников под слоем понимает «геологическое тело плоской формы, сложенное на всем протяжении одновозрастными осадочными породами и ограниченное двумя разновозрастными поверхностями осаднения, обособляющими его по каким-либо признакам от смежных» [71, стр. 24].

Существуют определения понятия «слой» через условия его формирования: «слой — часть толщи или пласта, выделившаяся вследствие изменившихся условий отложения осадка и ограниченная поверхностью осаднения и размыва. Отличается петрографическими, гранулометрическими и другими литологическими особенностями. В некоторых случаях слои могут быть однородными по литологическим особенностям, но разделяться ясно выраженными поверхностями осаднения и размыва» [51, т. 2, стр. 269].

Примером слоя, выделяемого по палеонтологическим признакам, является биостратиграфическая зона — «отложения, охарактеризованные определенным комплексом ископаемых организмов,

который является руководящим для данной биостратиграфической зоны и не повторяется в подстилающих и покрывающих ее отложениях» [148, стр. 47]. Биостратиграфические зоны (биозоны, эпиболы) могут устанавливаться по различным биостратиграфическим признакам, т. е. по различным комплексам ископаемых. Можно в связи с этим различать фаунистические и флористические зоны, а также политаксонные зоны, устанавливаемые по совокупности видов, относящихся к различным систематическим группам организмов, и монотаксонные зоны, устанавливаемые по одной систематической группе [148], а также видовые и родовые зоны.

Важнейшими для тектоники и первыми в общей последовательности решения геологических задач являются задачи, решаемые в рамках статических геологических систем. В определении понятий «слой», «слоистая структура» в статической геологии могут быть отражены только структурно-вещественные признаки. Такие признаки, как время, условия формирования, происхождение материала слоев, устанавливаются в рамках ретроспективных систем, после решения задач статической геологии. Включение их в данное определение привело бы к элементарной логической ошибке — логическому кругу.

Резюмируя сказанное, отметим, что в нашем представлении под слоем следует понимать геологическое тело, горизонтальная протяженность которого значительно превышает его толщину. Для внесения в определение слоя некоторой количественной определенности можно, например, условно принять, что отношение протяженности слоя к его толщине не должно быть меньше пяти.

Слои могут принадлежать к широкому диапазону порядков размеров по крайней мере от первого до десятого. Слои выделяются по какому-либо вещественному признаку или по некоторой определенной их совокупности. Они могут быть выделены, в частности, по петрографическим (минералогический состав, петрографическая структура, цвет и т. д.), биостратиграфическим (фузулины, кораллы, флора и т. д.), а также физическим (плотность, электропроводность, упругие свойства) признакам. Слои, выделенные по различным признакам, могут как совпадать, так и не совпадать друг с другом. В том случае, если существуют участки, принадлежащие как одному, так и другому слою, можно говорить о пересечении слоев (рис. 8).

Наконец, в ретроспективных построениях допустимо использование любых признаков в определении понятия «слой»: морфологических, вещественных, фациальных, временных и др.

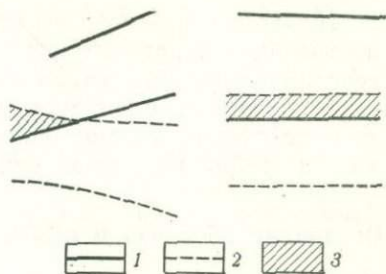


Рис. 8. Случай пересечения слоев
1—2 — границы слоя (1 — выделяемого по первому признаку, 2 — выделяемого по второму признаку); 3 — области пересечения слоев

Использование свойств слоистой структуры в ретроспективных построениях будет рассмотрено ниже. Здесь же остановимся на статических характеристиках слоистой структуры, касаясь историко-генетических проблем лишь в тех случаях, когда потребуется разделение систем, традиционно описываемых совместно, на статические и ретроспективные типы.

Осадочная оболочка и особенности ее слоистой структуры

Слоистость, создаваемая за счет распределения вещества на поверхности Земли, зафиксирована в осадочной оболочке, т. е. во внешней оболочке земного шара, в пределах которой по тем или иным признакам можно распознать слои, ранее сформировавшиеся на поверхности Земли. Осадочная оболочка в принятом здесь смысле состоит из пород различного происхождения, т. е. осадочных, изверженных и метаморфических. В осадочной оболочке запечатлены определенные геологические события в их исторической последовательности. Изучая пространственные взаимоотношения слоев на основе известного в стратиграфии «закона последовательности напластования», можно судить о последовательности геологических событий. Поэтому исследование слоистых тел и структур именно осадочной оболочки лежит в основе как изучения истории земной поверхности, так и геологической истории вообще.

Термин «осадочная оболочка» ранее применялся в ином смысле, а именно как оболочка, создающаяся в результате перемещения и отложения продуктов выветривания горных пород [35]. Такой же, в общем, смысл вкладывали Э. Зюсс и В. И. Вернадский в термин «стратисфера». В частности, В. И. Вернадский под стратисферой понимал оболочку главным образом морских, биогенных и терригенных пород, не охватывающую всю планету.

Автор считает, что в принимаемом им существенно ином смысле термин «осадочная оболочка» несколько неудобен, поскольку он ассоциируется с осадочными породами и осадочными толщами, что может вызвать смешение понятий. Поэтому пока он рассматривается как временный. Может быть, удобнее говорить о гипергенной оболочке. Но дело не в термине, а в том, что введение этого понятия и строгое его отграничение от понятия земной коры в соответствии с принципом специализации представляется совершенно необходимым.

Значение изучения слоистости осадочной оболочки Земли в тектонических исследованиях подчеркивается тем, что со структурами, возникшими в результате деформации слоистой структуры осадочной оболочки, связаны разнообразные тектонические формы, такие, как складки, грабены и горсты, флексуры и т. д.

Слои осадочной оболочки, сформировавшиеся последовательно на поверхности Земли, могут быть выделены по петрографическим и биостратиграфическим признакам. Последние рассматриваются как наиболее существенные при описании осадочной оболочки с целью

выделения в ней последовательно формировавшихся слоев. Такие свойства, как химические, физические, насыщение флюидами и т. д., могут быть распределены в осадочной оболочке в соответствии с законом последовательности напластования (если распределение их наблюдаемых значений, в конечном счете, обусловлено самим распределением и перераспределением вещества на поверхности Земли), а также и не в соответствии с этим законом (если распределение их наблюдаемых значений обусловлено последующими процессами).

Построение полноопределенного пространства в осадочной оболочке

Первой задачей, в которой используются специфические свойства слоистой структуры, является построение полноопределенного пространства. Существо ее можно представить следующим образом: дано — значения свойств по некоторому фиксированному списку в ограниченном множестве точек наблюдения, на отрезках прямых (описанные разрезы) и на фрагментах двумерного пространства (описанные геологические профили), требуется установить значения тех же свойств во всех остальных точках пространства. При такой формулировке становится очевидным, что построение полноопределенного пространства есть задача интерполяции. И если в случае неслоистых образований методы ее решения ничем не отличаются от общих методов интерполяции, для промежуточных точек выбираются промежуточные значения свойств, — то для слоистых структур методы интерполяции совершенно специфичны. Десятилетиями геологической практики выработана такая последовательность ее решения: описание разрезов — расчленение разрезов — их стратиграфическая корреляция — проведение границ скоррелированных подразделений.

Описание разреза

Задача описания разреза может пониматься как задача изучения пространственного распределения (в данном случае — в одномерном пространстве) некоторых свойств, по которым в дальнейшем производится выделение тел. Наиболее отчетливо эта задача выступает как самостоятельная при описании керна, при получении каротажных записей некоторых электрических или радиологических свойств в одномерном пространстве скважины. При полевых наблюдениях описание производится обычно одновременно с выделением тел в описанном фрагменте пространства.

Расчленение разреза

Задача расчленения разреза есть задача разбиения геологического пространства (в данном случае — одномерного) на геологические тела, или задача выделения геологических тел. Наиболее подробно

рассматривается расчленение разреза американскими геологами, принимающими рекомендации Американской стратиграфической комиссии 1957 г. Они допускают расчленение разреза по разным спискам непосредственно наблюдаемых и измеряемых свойств. По разным спискам свойств расчленение может быть различным. Выбор списка свойств определяется целями исследования, в конечном итоге — практической пользой. Для разных целей списки могут быть различными. Стратиграфические подразделения, выделяемые по наблюдаемым и измеряемым свойствам, характеризуются как объективные; подразделения же, выделяемые по свойствам, основанным на интерпретации наблюдаемых свойств (возраст, генезис и др.), являются субъективными [190, 191].

Более сложную процедуру расчленения разрезов предлагают Г. П. Леонов [102], М. Б. Зубкович [77] и др. — расчленять разрезы на тела, отвечающие этапам геологического развития региона или всей Земли в целом. Фактически оказываются разорванными две самостоятельные процедуры — выделение тел в разрезах и оценка правильности этого выделения с позиции этапности. Так как этапы развития региона могут быть выделены только после построения полноопределенного трехмерного геологического пространства по всему региону в целом, то решение задачи в данном случае будет иметь примерно такой вид: расчленяем разрез по первому произвольно выбранному списку свойств — строим полноопределенное геологическое пространство — проверяем, отвечают ли выделенные в разрезах тела этапам развития региона. Если да, то задача решена. Если нет, выбираем следующий список свойств, расчленяем разрез, строим полноопределенное пространство путем корреляции и проведения границ скоррелированных подразделений — оцениваем результат и т. д. Нет нужды говорить, что задача расчленения при подобной формулировке очень сложна.

При расчленении разреза и выделении в нем одномерных геологических тел следует руководствоваться представлениями об иерархии геологических объектов.

Несколько последовательно расположенных простых слоев могут быть по общим признакам объединены в сложный слой (сложное тело). Выделенные таким образом сложные слои могут быть объединены в сложные слои большого объема и т. д. В результате такого последовательного объединения слоев может быть установлена иерархия слоев. Положение слоя в иерархии слоев представляет его ранг. В литостратиграфической иерархии слоев серия является слоем высшего ранга; следующие более низкие ранги будут соответствовать свите, пачке, горизонту и слоям. Подобную иерархию слоев предложил еще в 1950 г. Б. М. Келлер [82]. Иную иерархию слоев, выделяемую по литологическим свойствам (литостратиграфические единицы), предлагали А. Н. Криштофович [92] (эпейролитама, эврилитама, комплекс, синклез, свита, подсвита, звено) и Н. Б. Вассоевич (комплекс, подкомплекс, серия, подсерия, толща, свита, подсвита, ступень, пачка, пласт и др.).

Периодическое повторение в разрезе определенной и ограниченной последовательности слоев различного литологического состава носит название ритмичности [169] или цикличности.

Понятия ритмичности и цикличности можно распространять и на слои, выделяемые по химическим (в соленосных толщах), физическим (слои разного электрического сопротивления) и другим свойствам. В. Е. Хаин подробно описывает ритмичность осадочных толщ нефтеносных областей Кавказа, Эмбы, Ферганы, а также угленосных свит.

Объединение слоев в сложные слои, установление их иерархии и рангов позволяет находить такие элементы слоистой структуры, которые отвечали бы масштабу тектонического исследования. Например, при изучении строения нефтяной залежи, составлении ее карт и разрезов часто имеет значение выделение слоев мощностью в несколько сантиметров или дециметров. При решении же вопросов, связанных с тектоникой обширных областей, например платформ, принимаются во внимание только слои высших рангов, например с мощностями, измеряемыми сотнями метров. Группирование слоев в ритмы и циклы не только представляет собой один из способов перехода к слоям высших рангов, но также является средством исследования периодических процессов, влияющих на осадконакопление и слоеобразование.

Стратиграфическая корреляция и синхронизация

Понимание термина «стратиграфическая корреляция» неоднозначно.

Н. А. Головкинскому [56] принадлежит основная роль в исследовании слоистости и вопросов ее синхронизации. Он считал, что общепризнанное убеждение в последовательности образования последовательно друг за другом налегающих слоев неверно и что следует различать понятия о хронологическом, стратиграфическом, петрографическом и палеонтологическом горизонтах. Все эти понятия объединяются понятием «геологический горизонт», что означает направление, соединяющее такие части формации, которые аналогичны в одном из названных отношений.

Следует различать два вида корреляции: во-первых, стратиграфическую корреляцию геологических тел (слоев) и границ, что соответствует прослеживанию «стратиграфического горизонта» Н. А. Головкинского, и, во-вторых, хронологическую корреляцию или синхронизацию.

Заметим, что в настоящее время имеются сторонники как узкого понимания термина «корреляция», для которых корреляция есть синхронизация или установление хронологического горизонта по Н. А. Головкинскому [64, 72 и др.], так и сторонники широкого понимания этого термина, для которых корреляция есть установление любого из геологических горизонтов Н. А. Головкинского [94, 148 и др.].

Установление стратиграфического горизонта

Сравнительно редко можно наблюдать слой целиком; обычно разобщенные участки слоя описываются в отдельных естественных обнажениях, горных выработках и скважинах. Чтобы выяснить положение слоя на всем его протяжении или на некотором участке, проводят стратиграфическую корреляцию. Прежде всего необходимо установить список свойств, по которому выделено тело. Для отнесения различных слоев в разных разрезах к одному и тому же геологическому телу коррелируемые слои должны быть выделены по одной и той же процедуре.

Существует много различных методов стратиграфической корреляции. По-видимому, большинство из них, если не все, могут быть сведены к операции отождествления маркирующих тел. Этому соответствуют формулировки, приводимые В. К. Крумбейном и Л. Л. Слоссом [94], а также с большими допущениями формулировки Д. Л. Степанова [148], К. Данбара и Дж. Роджерса [65] и др. Маркирующим может быть названо тело, не повторяющееся в разрезе. Если в двух разрезах присутствуют тела, сложенные одной и той же породой (формацией, содержащей один и тот же вид), и каждое из них не повторяется в разрезе, то их коррелируют. Многие методики стратиграфической корреляции отличаются друг от друга не самим выбором, какое тело в одном разрезе коррелировать с некоторым телом другого разреза, а лишь способами выделения тел в разрезах, позволяющими установить маркирующие пласты. Часто в основной список свойств вводятся дополнительные свойства — литологические, палеонтологические, геофизические, геохимические. В других случаях отдельные пласты группируются в пачки, ритмы, циклы. Возможно некоторое отклонение от цели корреляции: корреляция достигается, но при этом скоррелированные тела оказываются выделенными не по тому фиксированному списку свойств, который был задан, а совсем по другому. Зачастую бывает невозможно установить соотношение тела, выделенного в результате корреляции, с тем, которое надо было выделить. Более правильным представляется иной способ использования дополнительных свойств.

Стратиграфическая корреляция по несобственным признакам

Существенным приемом стратиграфической корреляции является прослеживание тел и границ по несобственным признакам (т. е. по признакам, отличным от тех, по которым эти тела и границы выделены) на основе корреляционных соотношений между собственными и несобственными признаками. Примером служит прослеживание литологических границ по электрическим или магнитным свойствам, биостратиграфических границ — по литологическим свойствам, прослеживание сейсмологической границы — поверхности Мохоровичича — по гравиметрическим данным на основе графиков корреляционной зависимости аномалий силы тяжести в редукции

Буге от глубины залегания поверхности Мохоровичича [62, 66]. Оговоримся, что под стратиграфическими границами мы понимаем границы в слоистой структуре любой специализации, т. е. по любому набору признаков. В этом смысле поверхность М тоже представляет собой стратиграфическую границу, с которой, однако, нельзя связывать никакие ретроспективные реконструкции геологического времени.

При корреляции по несобственным признакам возникает проблема отображения пространства одной специализации (например, пространства, разбиваемого по литологическим свойствам) в пространство другой специализации (пространство, разбиваемое по палеонтологическим свойствам). Имеется огромный фактический материал для решения этой проблемы. Рассмотрим существующие по этому вопросу точки зрения и их обоснование, опираясь в основном на материалы литологической и палеонтологической специализации.

В последнее время гораздо чаще пишут о несоответствиях разбиваний пространства по палеонтологическим и по литологическим признакам, чем о соответствиях. Особенно часто обсуждается проблема «возрастного скольжения» литологических границ. В этой проблеме можно выделить два аспекта. Назовем один из них модельным, второй — эмпирическим. Модельный аспект связан с чисто умозрительными построениями, с рассмотрением гипотетических моделей формирования толщ. Предполагается, что при формировании толщ происходили трансгрессии и регрессии, в результате которых образовавшиеся литологические границы должны пересекать «поверхности разновозрастности». Такие построения разбираются, например, в работах Г. Уилера и Э. Бисли [198] и др. Эмпирический аспект связан с анализом многочисленных фактов пересечения тел разной специализации и их границ. Если одна из границ, обычно биостратиграфическая, принимается за «поверхность разновозрастности», то пересекающаяся с ней неизбежно должна квалифицироваться как «скользящая по возрасту». В литературе приводятся многочисленные примеры «возрастного скольжения».

Классическим стал пример «возрастного скольжения» глинистых сланцев Брайт-Эйнджел в Большом Каньоне Колорадо. На протяжении 350 км они подстилаются одними и теми же песчаниками Тепитс, но содержат в своем основании на западе раннекембрийский комплекс окаменелостей, а на востоке среднекембрийский комплекс [110]. Пересечение литологической границы групп Кэтскилл и Шеманг с биостратиграфическими границами было установлено в палеозойских отложениях штата Нью-Йорк [65]. Л. Я. Трушкова [162] приводит пример резкого в пределах одной разведочной площади пересечения границ, проведенных по фауне, с границами, проведенными по литологии (рис. 9).

Вывод о пересечении литологических границ с биостратиграфическими неизбежно следует и из установленных фактов пересечения одних биостратиграфических границ с другими. Действительно,

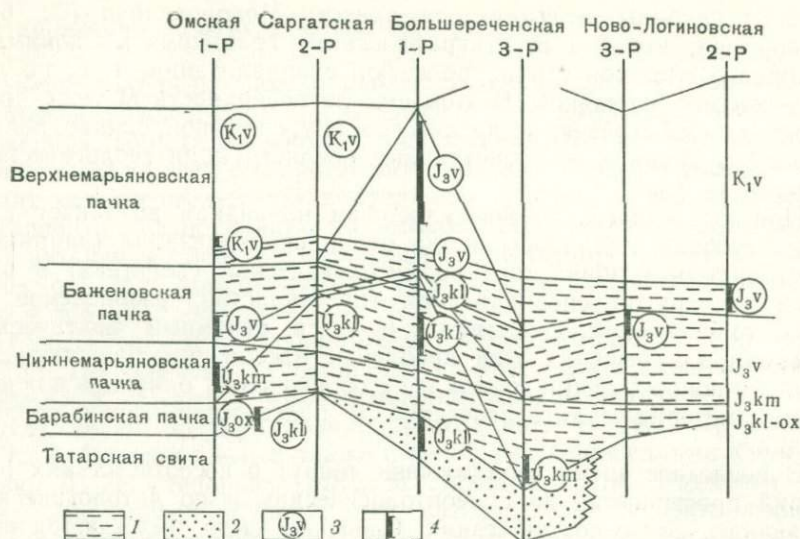


Рис. 9. Несоответствие слоев, выделяемых по литологическим и палеонтологическим признакам, в мезозойских отложениях Западной Сибири. По Л. Я. Трушковой, 1967 г.

1 — аргиллиты; 2 — песчаники; 3 — местонахождение фауны: келловея (J_3kl), оксфорда (J_3ox), кимериджа (J_3km), волжского яруса (J_3v) и валанжина (K_1v); 4 — интервал распространения фауны по разным скважинам

если литологическая граница совпадает с одной из таких пересекающихся границ, то она должна пересекаться с другой из них. Случаи пересечения одних биостратиграфических границ с другими очень часты; их можно разбить на несколько групп.

К первой группе отнесем такие примеры, когда фауна (флора, отдельный вид, род и т. д.) α , во всех разрезах располагавшаяся ниже фауны (флоры, отдельных видов, родов и т. д.) β , обнаруживается в каком-либо разрезе или участке выше α . К этой группе относятся переотложенные, реликтовые, суперститовые фауны или формы.

Наиболее ярким примером реликтовых форм являются современные *Latimeria* — представители мезозойской группы целакантид, *Gingo biloba* — остатки мезозойской флоры, в Японии и в Китае доживающие до нашего времени [148].

В палеозойских отложениях Подмосковья *Choristites mtsquensis* являются руководящей формой среднего карбона, а на Северной Двине он отмечен в верхнем карбоне. Подобным же образом *Chonetes carboniferus* в Подмосковье характерен для среднего и верхнего карбона, кроме самого верхнего (омфалотрохового) горизонта карбона, а на Тимане он присутствует в пермских отложениях [79]. Примеры переотложения известны каждому геологу. Если иногда они и подвергаются обсуждению, то обычно в одном смысле — действительно ли форма переотложена в данные слои или она жила на этом месте при их формировании.

Как пишет, например, В. П. Нехорошев [120, стр. 101], иногда «переотложение» фауны «подводится» под определенную идею Однако для статического подхода решение этого вопроса несущественно — в данном случае важно лишь, что сейчас эта окаменелость находится в этих слоях.

Ко второй группе пересечений относятся такие примеры, когда окаменелости α , во всех разрезах находившиеся выше β , в некоторых участках обнаруживаются ниже них. В литературе такие окаменелости α иногда называются баррандовскими фаунами или колониями Барранда. К таким же результатам в современном статическом геологическом пространстве приводит и явление «вмыва» молодых форм в более древние породы. В качестве примера пересечений второй группы можно привести брахиоподу *Striatifera striata* (F i s h.), руководящую форму верхов визе — низов намюра, известную в этих отложениях от Англо-Бельгийского бассейна до Китая включительно. Неожиданно эта форма была найдена в ассоциации с руководящими турнейскими брахиоподами [120]. Из кембрийских пород с трилобитами Восточного Саяна и из докембрия Криворожья были обнаружены каменноугольные споры [114]. Находки спор были объяснены их «вмывом» в древние породы из более молодых. Во всех отмеченных случаях очевидно, что границы распространения окаменелостей α пересекаются с границами распространения некоторой фауны β , причем последние приняты за изохронные границы.

К третьей группе пересечений относятся случаи обратной последовательности окаменелостей α и β в разных разрезах. Приведем один пример.

Возраст «ежового горизонта» залива Корфа на Камчатке, содержащего остатки моллюсков, всегда считался более молодым, чем возраст перекрывающей его флороносной толщи. Так, И. П. Хоменко (1933 г.) сопоставлял «ежовый горизонт» по сходству фауны со средним миоценом, а А. Н. Криштофович (1934 г.) сравнивал флористические комплексы с олигоцен-миоценовыми. После сравнительного изучения сахалинских и камчатских разрезов Ю. С. Салиным было установлено сходство фаунистического комплекса «ежового горизонта» с комплексом сертунайского горизонта Сахалина, а флористического комплекса — с комплексом верхнедуйской свиты [177]. Последовательность верхнедуйского флористического комплекса и сертунайского фаунистического комплекса противоположна последовательности корфского флористического комплекса и комплекса моллюсков «ежового горизонта».

Обычно считается, что если подобные примеры пересекающихся границ свойственны для остатков растений и животных бентоса, то окаменелые пелагические формы ведут себя более закономерно по отношению друг к другу. Однако и для пелагических форм известны факты «скольжения» и пересечения границ. Так было установлено «возрастное скольжение» аммонитов *Gonioboloceras*, в Центральном Казахстане ассоциирующих с позднеурнейским ком-

плексом фауны, а в Соединенных Штатах Америки — с фауной Пенсильвании. За синхроничные границы в данном случае были приняты границы, проведенные по сопутствующим формам [148].

Б. М. Келлером установлено, что «... в тринуклеусовых слоях Швеции присутствуют ашгилльские *Dicellograptus complanatus* и *D. ancets* (граптолиты — Ю.К.), которые залегают в последовательности, обратной по отношению к последовательности залегания этих видов, наблюдающейся в английских разрезах» [83, стр. 40]. В этой же работе им отмечено совместное нахождение на одной плитке глинистого сланца руководящих видов граптолитов двух разных зон лланвирна.

Если биостратиграфическая граница пересекает границу литологического тела, то она не может использоваться для прослеживания этого тела от разреза к разрезу (рис. 10).

Если мы скоррелируем песчаный пласт (толщу, свиту) с фауной α разреза А и такой же песчаный пласт (толщу, свиту) разреза Б, содержащий ту же фауну α , то мы, возможно, совершим ошибку. Если в дальнейшем, например, при прослеживании угленосной свиты мы руководствуемся такой корреляцией и задаем горные выработки, будут затрачены впустую большие средства; то же может иметь место и при разбурировании нефтеносных площадей и во многих других аналогичных ситуациях.

Возможно, что фауна α совпадет в разрезах А и Б с разными по литологии пластами (толщами, свитами). В таком случае ошибки при прослеживании литологических тел мы не совершим, мы просто не сможем использовать фауну для прослеживания литологических тел. Другими словами, при пересечении биостратиграфических границ с литологическими палеонтологические признаки оказываются в лучшем случае бесполезными для прослеживания литологических тел и корреляции разрезов. Понятно, что возведение явления пересечения в ранг всеобщего закона исключает использование биостратиграфии для литологической корреляции. Любой случай успешного проведения подобной операции должен рассматриваться с позиции этого закона как необъяснимый парадокс.

Попробуем, однако, проанализировать результаты стратиграфической корреляции литологических тел по палеонтологическим признакам. Такие действия не только проводятся в массовом порядке; в массовом порядке проводится и их проверка наблюдением. Слои прослеживаются при геологической съемке путем наблюдения в обнажениях между скоррелированными разрезами; такая же проверка предсказанного положения тела осуществляется при про-

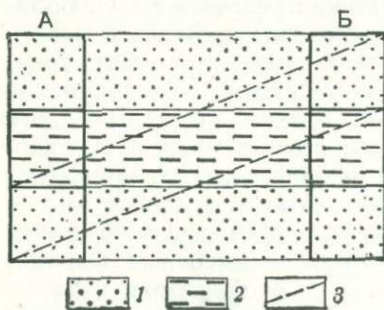


Рис. 10. Пример пересечения биостратиграфических и литологических границ

1 — песчаники; 2 — аргиллиты; 3 — граница распространения фауны

ходке шахт, тоннелей, буровых скважин. Нет нужды приводить конкретные подтверждения успешного проведения подобной корреляции. Если бы проверка показывала противоположный результат, как это должно было бы следовать из закона, утверждающего пересечение литологических границ с палеонтологическими, методы корреляций литологических тел по палеонтологическим признакам давно были бы отвергнуты.

Необходимо поэтому принять как исходные предпосылки оба утверждения о пересечении и о непересечении границ, воплотив их в формулировку: слои разной специализации находятся в произвольных соотношениях, т. е. они могут пересекаться, но могут и не пересекаться. Учитывая, что для корреляции полезны только такие специализации, при помощи которых могут быть проведены границы, не пересекающиеся с заданными (собственными) границами, и что такие специализации могут быть найдены, следует поставить вопрос об отборе таких полезных несобственных специализаций. Эта задача сформулирована нами совместно с Ю. С. Салиным; предложена методика отбора полезных специализаций, основанная на теории отношений и использовании матриц.

Так как множество несобственных признаков обычно велико (геолог почти всегда при описании фиксирует избыточное количество признаков, большинство которых не используется при выделении тел), надо полагать, что задача отождествления пластов разных разрезов всегда может быть решена указанным приемом.

Исходным материалом для проведения границ, как заключительной операции построения полноопределенного пространства, служат горизонты скоррелированных одномерных геологических тел (стратиграфических подразделений конкретных разрезов). Границы этих горизонтов в описанных разрезах обычно имеют привязку к географическим координатам. Это либо отметки глубины от уровня моря (для скважин) и величины широты и долготы, либо (чаще) абсолютные отметки от уровня моря и цифры координат по километровой сетке данного листа планшета. Задача сводится к установлению значения трех координат (x , y , z) во всех промежуточных точках по известным значениям в некоторых точках наблюдения и решается обычно методами структурной геологии. Чаще всего она решается графически; известны также примеры аналитических методов решения. В общем случае задача не имеет единственного решения. В самом деле, мы можем провести между двумя известными точками прямую (в случае аналитического способа — интерполировать, исходя из линейного уравнения) и предположить, что все промежуточные точки располагаются на этой прямой. Но мы можем с тем же правом провести между точками наблюдения и параболу, гиперболу, синусоиду или любую другую кривую (в случае аналитического способа — интерполировать, исходя из любого нелинейного урав-

нения) и предположить, что промежуточные точки находятся на этой кривой. В результате получается, что решение задачи зависит от многих факторов, часто субъективных, например от опыта, интуиции исследователя, сведений об успешности или неудаче предшествующего применения той или иной модели интерполяции.

Однако иногда совсем не обязательно знать точное положение границы в промежуточной точке. Например, если при поисковых работах мы не собираемся бурить именно в данной точке и вскрывать пласт на вычисленной глубине, а просто хотим знать общий характер структуры данного участка, — имеем ли мы дело здесь с антиклиналью или синклиналью, то оказывается вполне достаточным дискретный подход к описанию структуры. По положению данного множества точек относительно некоторого нулевого уровня всегда может быть получен ответ на поставленный вопрос. Для других, также поисковых целей бывает достаточно грубой, приближительной классификация структуры по морфологии границ. Например, кроме антиклинального типа складки иногда необходимо знать также и ее приближительные размеры, степень вытянутости, соотношение высоты и напряженности, ориентировку и т. п. В таких случаях было предложено заменять истинную конфигурацию складки конфигурацией ее наименьшей описанной выпуклой оболочки [57].

Описание полноопределенного пространства в осадочной оболочке

После построения полноопределенного пространства производится его описание. Выбор признаков, фиксируемых при описании полноопределенного пространства, должен производиться с позиции определенной цели. Цели описания могут быть очень различными. Важнейшей задачей тектоники является установление структуры геологического пространства. Различные поисковые, инженерные потребности могут приводить и к построению различных структурных описаний. Должен существовать, однако, некоторый единый для всех целей и территорий, общий подход, позволяющий приводить различные целевые построения к единой координатной системе и на этой основе сравнивать их друг с другом, извлекать из них нечто общее, инвариантное для всех них, и в то же время обнаруживать их различия. Представляется, что построение такой общей координатной системы должно основываться на наиболее простых и повсеместно распространенных свойствах. Именно этими наиболее простыми и повсеместно распространенными ее свойствами мы и ограничимся при описании. Такое описание будет удовлетворять, по-видимому, требованиям создания тектонических, структурных, геологических карт для всей планеты или для больших ее территорий, для решения наиболее общих поисковых проблем, для самых обобщенных исторических реконструкций.

При стратиграфическом описании трехмерного геологического пространства фиксируются только вещественные признаки, имеющие смысл для любой точки тела или для тела в целом, а также пространственные отношения тел. Среди пространственных отношений наиболее важны отношения последовательности тел типа «выше—ниже» по стратиграфической нормали и отношения латеральной последовательности тел в пределах одного и того же стратиграфического горизонта. Оба типа отношений устанавливаются в модели, на уже построенном геологическом пространстве, т. е. на уровне конструктов, а не на уровне наблюдений, как в случае с отношениями «выше—ниже» для тел в отдельных колонках.

Для перечисления слоистых геологических тел в порядке их напластования необходимо прежде всего установить направление вектора, по которому будет производиться отсчет положения тел. Таким вектором в геологической практике принята стратиграфическая нормаль — линия, проходящая снизу вверх перпендикулярно поверхностям напластования. Проведение нормали в пространстве, выполненном слоистыми толщами, обычно не представляет затруднений.

Отношения латеральной последовательности геологических тел также легко могут быть установлены, если дано направление вектора, по которому должен производиться отсчет положения тел. Сложность установления латеральной последовательности заключается в том, что такой вектор очень трудно построить. Для его построения необходимо иметь результаты корреляции подразделений отдельных геологических разрезов. Вектор должен быть расположен в пределах трехмерного геологического тела, полученного путем сопоставления отдельных одномерных тел. Это ограничение представляется бесспорным, однако вектор должен продолжаться и там, где тело выклинивается, иначе его построение теряет всякий смысл. Очевидно, можно трактовать некоторые практически используемые приемы построения, как продолжение вектора за пределы тела в том же направлении; как только он войдет в следующее геологическое тело, он должен следовать параллельно поверхностям напластования, не выходя из пределов тела. Таким образом, могут быть разъяснены способы построения стратиграфического горизонта, предложенные Н. А. Головкинским [56].

Предложены и иные способы. Например, В. К. Крумбейн и Л. Л. Слосс [94] предлагают два способа установления идентичности стратиграфического интервала. В первом случае идентичными считать два тела, перекрытых сверху одним и тем же телом и подстилаемых снизу одним и тем же телом; при этом оба сравниваемых, подстилающее и перекрывающее тела, выделены по одному и тому же списку свойств. Во втором случае идентичными предлагается считать тела одной и той же специализации, совпадающие с третьим телом другой специализации. Например, идентичными могут считаться слои высокого и низкого электрического сопротивления, отвечающие одному и тому же пласту песчаника, или карбонатная

и терригенная толщи, содержащие один и тот же фаунистический комплекс, и т. д. Вектор, по которому производится отсчет латеральной последовательности тел, должен располагаться в пределах одного и того же стратиграфического интервала [94].

Несомненно, что два способа могут давать различные результаты. Различные результаты могут быть получены даже в пределах одного способа. Вспомогательное тело, по совпадению с которым устанавливается идентичность стратиграфического интервала, может быть выделено по разным специализациям, дающим пересекающиеся друг с другом границы. Однако такая неоднозначность при целевом подходе к стратиграфическим построениям, о котором подробнее будет сказано ниже, не является недостатком.

Вопрос о назначении и способах построения стратиграфических шкал дебатруется. В ходе дискуссии выявлены две крайние точки зрения. Согласно одной из них, «принципы и критерии выделения для всех стратиграфических подразделений едины. В этом отношении вспомогательные (местные) подразделения ничем не отличаются от подразделений единой шкалы» [149, стр. 19]. Согласно другой — «... региональные (местные) подразделения, эти реальные геологические тела, каждое из которых знаменует тот или иной этап истории развития региона, и подразделения МСШ, при помощи только палеонтологического метода датирующие эти этапы, глубоко и принципиально различны: региональная стратиграфическая схема выражает геологическую историю региона, а МСШ представляет собой лишь хронологию этой истории. Те и другие принципиально различны по их природе, по критериям и методам их выделения, по их назначению и практическому использованию» [173, стр. 33].

Обсуждаемые вопросы легко могут быть разрешены с помощью понятий о моделировании, о геологических пространствах разной специализации и их соотношениях. Согласно определению Б. С. Соколова, наиболее удачному с позиции требований системного подхода, «... полный скоррелированный свод этих подразделений (свит, серий, горизонтов) любого региона образует его стратиграфическую схему — своеобразную модель, отражающую положение стратиграфических тел в исследуемом пространстве» [146, стр. 159]. Действительно, стратиграфическая шкала является моделью геологического пространства, системой, элементами которой являются геологические тела, а системообразующими связями — вертикальные и латеральные отношения порядка. Достаточно очевидно, что стратиграфическая шкала является предельно бедной в информационном смысле моделью. Путем последовательных приближений она может быть преобразована в более богатую модель — в тектоническую схему или геологическую карту. Для этого в нее должны быть внесены сведения о элементах залегания, дислокациях, положении описываемых тел в координатной системе и т. д.

Поскольку тела, выделенные в одном и том же участке по разным спискам свойств, находятся в произвольных соотношениях, могут

быть различными и модели этих пространств разной специализации, будь то схемы расчленения, стратиграфические шкалы, тектонические схемы или геологические карты. Так как для разных практических целей представляют интерес разные списки свойств, то очевидно, что схемы расчленения и стратиграфические шкалы, скажем, для целей нефтяной геологии будут отличаться от таких же стратиграфических моделей угольной геологии; стратиграфия для целей поисков фосфоритов будет иной, чем стратиграфия для целей инженерной геологии. Вообще, имеет смысл говорить о разных целевых стратиграфиях.

В то же время должна существовать и некоторая общая, единая стратиграфия. Различия в назначении целевых стратиграфий и единой стратиграфии аналогичны различию целевых тектонических описаний и общего тектонического описания. Единая стратиграфия должна служить основой (единой стратиграфической вертикалью) для общих тектонических построений. Только единая стратиграфия позволяет устанавливать взаимоотношения тел разных районов.

Для построения более богатых в информационном смысле, чем стратиграфические шкалы, моделей геологического пространства необходима фиксация дополнительных свойств и отношений. Большинство из них связано с геометрией тел или их границ. К таким свойствам и отношениям принадлежат мощности и их изменения, элементы залегания слоев, структурные отношения (согласные и несогласные залегания), дислокации.

Глубинные слоистые структуры

Помимо выделяемой по петрографическим и биостратиграфическим признакам слоистой структуры осадочной оболочки в пространстве Земли могут существовать другие слоистые структуры. К числу их относится, например, слоистая структура, обязанная гравитационной дифференциации вещества при застывании плутонов, слоистые структуры геоэлектрической природы, образуемые слоями различной электропроводности, которая изменяется в зависимости от состава поровых вод, а также с глубиной в соответствии с термодинамическими условиями и т. д. Подобного рода слоистые структуры носят глубинный характер; расположение слоев в этих структурах не подчинено закону последовательности напластования, а следовательно, не может быть непосредственно использовано для реконструкции истории Земли. В глубинных слоистых структурах фиксируются не процессы, последовательно проходившие на поверхности Земли, а процессы распределения и различных изменений вещества в недрах планеты. Для суждения о внутреннем строении Земли и процессах распределения вещества в ее недрах наиболее существенной является глубинная слоистая структура, устанавливаемая по скоростям прохождения упругих волн.

Основные элементы слоистой структуры земной коры и мантии по скоростям прохождения упругих волн

Изучение фигуры Земли и сопоставление ее с фигурой равновесия неоднородной вращающейся жидкости показывает, что Земля в целом находится в состоянии гидростатического равновесия. Отсюда, а также учитывая существование неравномерного распределения плотности от поверхности к центру приходим к выводу о слоистом строении Земли [108, стр. 81].

Представление о слоистом строении Земли уточняется изучением упругих свойств (сейсмические данные). Согласно Б. Гутенбергу [63], основными элементами сферической слоистой структуры Земли можно считать кору (*Crust, écorce, terrestre*), мантию (*Mantle, mantle, manteau*) и ядро (*core, core, noyan*). На границе коры и мантии (поверхность Мохоровичича, «Мохо», «М»), а также мантии и ядра скорости сейсмических волн изменяются резким скачком, т. е. эти границы являются геологическими границами первого рода.

В соответствии со схемой Р. Е. Буллена принимаются следующие обозначения слоев Земли: *A* — земная кора, *B*, *C*, *D'*, *D''* — различные слои мантии, *E* — внешнее ядро, *F* — переходная зона и *G* — внутреннее ядро. Граница ядра является наиболее отчетливым сейсмическим разделом в теле Земли; скорость продольных волн здесь изменяется скачком от 13,2 до 8,5 км/с.

Представление о земной коре как наружном слое Земли, ограниченном снизу поверхностью Мохоровичича, является наиболее принятым, и именно этот смысл вкладывается в термин «земная кора» в нашем изложении. Следует иметь в виду существование иных толкований этого термина. Например, под земной корой иногда подразумевается верхняя оболочка Земли мощностью 700 км, в пределах которой возникают землетрясения [17], или даже «поверхностные слои Земли, которые участвуют в формировании изотопов свинца» за счет распада урана и тория [118, стр. 688].

В пределах континентального блока земной коры обычно выделяется верхний слой (*A₁*) со скоростями продольных волн (v_p) от 5,1 до 6,4 км/сек и скоростями поперечных волн (v_s) 3,0—3,8 км/с и нижний слой (*A₂*) с v_p от 6,1 до 7,4 км/с и v_s от 3,6 до 4,2 км/с [63, табл. 6]. Между ними местами проводится граница Конрада, установленная в 1925 г. при изучении волн от землетрясения в Восточных Альпах.

Как отмечают И. П. Косминская и Ю. М. Шейнманн [86], поверхность Конрада надежно определяется лишь при глубине ее залегания не более 1/2 или 2/3 от глубины поверхности М. Граница Конрада является границей второго рода, а в ряде случаев проводится как условная (статистическая) граница. Кроме того, граница Конрада в разных районах проводится в разных интервалах скоростей. Например, в Южной Зеландии она разделяет части земной коры со значениями 6,0 и 6,3 км/с, а в Калифорнии 6,4 и 7,1 км/с. В ти-

пичной океанической коре верхний слой отсутствует, а нижний слой обладает относительно узким диапазоном v_p (6,3—7,0 км/с) и поэтому, вероятно, иным, более однообразным петрографическим и химическим составом, чем в пределах континентального блока.

Наряду с континентальным и океаническим типами земной коры выделяется целая серия промежуточных типов. К ним относится, например, «подледниковый тип» земной коры, характеризующийся небольшой мощностью верхнего слоя при большой мощности земной коры в целом [185].

В районах, где проведены детальные исследования методом ГСЗ, намечается разделение коры на более тонкие слои.

При переходе через поверхность Мохоровичича v_p резким скачком возрастает до 8,1—8,2 км/с, а v_s до 4,7 км/с. Однако в некоторых районах «... определение границы М затруднено, намечается целая зона перехода от коры к мантии» [86, стр. 6]. В Кордильерах Северной Америки в области бассейнов и хребтов, согласно Куку [171], ниже базальтового слоя с $v_p = 6 - 6,4$ км/с, но выше поверхности М располагается промежуточный слой с $v_p = 7,4 - 7,7$ км/с, именуемый «смесью мантии и коры» (mantle-crust mix). Такое неустойчивое положение раздела М характерно для районов с интенсивными современными или новейшими движениями.

С установлением волноводов и оценкой их возможной роли в тектоническом развитии Земли связан ряд новейших геотектонических гипотез, в частности так называемая «плитная тектоника». По сейсмологическим данным устанавливается существование в мантии Земли слоя низких скоростей, который служит проводником сейсмической энергии — каналом или волноводом для сейсмических волн. Такой слой начинается на континентах на глубине 100—200 км, под дном океанов на глубине 50—60 км, а по некоторым данным под Атлантическим и Индийским океанами на глубине 20 км. Существование волновода может быть связано с нагревом вещества мантии [109].

О более тонкой по сравнению со схемой Буллена структуре мантии говорят данные региональных сейсмологических исследований последних лет. Так, Р. З. Тараканов и Н. В. Левый в переходной зоне от Азиатского материка к Тихому океану в мантии на глубинах 65—90, 120—160, 230—300 и 370—430 км выделяют четыре астеносферных слоя с усиленным поглощением поперечных волн, перемежающихся со слоями повышенной прочности [36]. Установление полиастеносферности мантии значительно усложняет ретроспективные реконструкции, связанные с идеей плитной тектоники.

Истолкование сейсмических слоев и границ

Для изучения строения и развития Земли в целом или только земной коры существенно выяснение соотношения слоев, выделяемых по сейсмическим данным, и других структурных элементов, выде-

ляемых в осадочной оболочке Земли по петрографическим и биостратиграфическим признакам, в частности интерпретация сейсмических слоев на языке петрографических или геохимических терминов. В настоящее время практически отсутствуют непосредственные измерения, которые позволили бы провести корреляцию между сейсмическими и петрографическими (или геохимическими) признаками в пределах выделяемых по сейсмическим данным слоев или вдоль разделяющих их поверхностей. Для поверхности Мохоровичича и соответственно низов коры и самых верхов мантии такие измерения могут быть произведены только в образцах, которые предполагается извлечь из сверхглубоких скважин, проектируемых до мантии.

Согласно Б. Гутенбергу [63], сейсмические разделы внутри Земли могут быть обусловлены: 1) изменением химического состава земных недр, 2) фазовыми переходами между жидкой и твердой или же между двумя твердыми фазами.

На основании сравнения скоростей волн от землетрясений со скоростями волн, определенными в лабораторных условиях для горных пород различных типов, слой A_1 называют «гранитным слоем», а слой A_2 — «базальтовым слоем», или «слоем габбро». Так, v_p в граните при атмосферном давлении и комнатной температуре составляет 4,0—5,6 км/с, а в термодинамических условиях, соответствующих глубинам от 1 до 32 км, постепенно повышается от 5,96 до 6,27 км/с; v_p в габбро в нормальных условиях составляет от 6,3 до 6,7 км/с, увеличиваясь в указанном выше интервале глубин от 6,70 до 6,83 км/с. Если петрографические наименования слоев A_1 и A_2 основывать на сравнении скоростей, то для A_2 название «слой габбро» более удобно, так как v_p в базальтовой породе лежит ближе к «гранитным скоростям» [63, табл. 3 и 5]. Высказывалось мнение, что «базальтовый слой» может быть образован метаморфическими породами среднего состава [137, 138]. Б. Гутенберг подчеркивает, что «... такие выражения, как сиалический, гранитный, базальтовый и ультрабазальтовый, или ультраосновной, слои, используются большинством геофизиков, чтобы охарактеризовать только различные скорости упругих волн» [63, стр. 39]. К этому надо добавить, что применение петрографических названий для сейсмических слоев крайне нежелательно, так как забвение условности этих названий, невольное придание им петрографического содержания может привести к неправомерному переходу из «пространства упругих свойств» в «петрографическое пространство», нарушению принципа специализации, смешению понятий и необоснованным построениям.

В связи с этим подчеркнем еще раз необходимость строгого разграничения осадочной оболочки и земной коры, выделяемой по сейсмическим данным. Нижняя граница осадочной оболочки неизвестна, так же как неизвестна подошва архейских образований. Во всяком случае, все горные породы, которые мы знаем, а также все изучаемые нами ассоциации горных пород, такие, как геологические, в том числе магматические формации, геосинклиналильные

комплексы, интрузивные тела и т. д., принадлежат к осадочной оболочке, так как представлены осадочными породами или расположены среди осадочных пород.

В качестве крупного слоя в сферической слоистой структуре Земли иногда выделяют тектоносферу — внешнюю оболочку, в которой происходят тектонические и магматические процессы. Нижняя граница тектоносферы, так же как и нижняя граница осадочной оболочки, не установлена. Очевидно, определение нижней границы тектоносферы представляет собой очень сложную и труднорешаемую проблему, особенно сложную потому, что тектоносфера выделяется не по вещественным признакам непосредственно, а по следам и проявлениям процессов. Очевидно, не совсем правильно тектоносферу приравнивать к земной коре и верхней мантии, поскольку эти слои выделяются по иному признаку. Можно говорить лишь о приближительном и предполагаемом их соответствии.

Существующие модели слоистой структуры Земли, основывающиеся на петрографических или геохимических (сналь, сима, ультра-сима и т. д.) свойствах, являются гипотетическими. На основании сопоставления скоростей прохождения упругих волн землетрясений (v_p 7,9—8,2 км/с, v_s 4,4—4,8 км/с) и скоростей, полученных в лабораториях, считается, что верхи мантии могут состоять из перидотита или эклогита (v_p 8 км/с, v_s 4,2 км/с). В первом случае граница М должна разделять слои различного петрографического и химического состава, во втором — она может быть обязана фазовому переходу габбро в эклогит [63, 193].

Гипотеза фазового перехода находит подтверждение в экспериментальных доказательствах перехода альбита в жадеит при давлении 15—25 тыс. атм, примерно соответствующем глубине поверхности М [195], и перехода базальтового вещества в породу эклогитового типа при давлении 10 тыс. атм, причем этот переход сопровождается десятипроцентным сокращением объема вещества и значительным повышением его плотности. По другим данным, эклогитизация щелочных базальтов происходит постепенно в мощной зоне, соответствующей интервалам давлений 15—25 тыс. атм, и сопровождается уменьшением объема на 15% [50].

Экспериментами при давлении 66 кбар и температуре 600—2000° С, т. е. в условиях, примерно соответствующих глубине 300 км, установлен переход полевошпатовых пород, стабильных в земной коре, к гранат-пироксеновым, стабильным на этих глубинах в верхней мантии, что может привести к увеличению плотности от 2,6 до 3,0 г/см³, изменению упругих модулей и появлению сейсмических неоднородностей [142].

При формировании более глубоких сейсмических разделов в мантии (на уровне слоя С) может иметь большое значение фазовый переход модификации SiO₂ коэсита (коусита) в стишовит, что сопровождается увеличением плотности на 44%. По мнению И. А. Островского [126], стишовит должен играть важную роль в составе мантии на глубинах свыше 500 км. При допущении фазового перехода

вероятно «перескакивание» поверхности М кверху в связи с переходом габбро в эклогит. В таком случае на месте прежнего положения границы М может проследиваться только затухающий последующими геологическими процессами раздел орто-Мохо в отличие от нового положения этого раздела — пара-Мохо. Эти термины предложил Ван-Беммелен для различения поверхности Мохоровичича под континентами (орто-Мохо) и под океанами, где положение этой поверхности обусловлено вторичными процессами базификации (пара-Мохо). Под континентами, по мнению Ван-Беммелена, также в результате вторичных процессов поверхность Мохо может перемещаться вверх, образуя неоорто-Мохо в отличие от старого положения палеоорто-Мохо.

Для тектонических построений далеко не безразличен выбор между двумя представлениями (изменение химического состава или фазовый переход) о природе поверхности Мохо, которые можно распространить и на другие сейсмические границы внутри земной коры и мантии.

В первом случае, в принципе, возможны два предположения. Во-первых, можно предполагать, что граница занимает стационарное положение относительно слоистой структуры осадочной оболочки Земли и перемещается в геоцентрической системе координат в ходе геологического развития. Этому отвечают представления о соответствии сейсмических разделов крупным несогласиям в осадочной оболочке. Разное количество разделов и различное их положение в разных районах увязывается при этом с различной историей их геологического развития [55, 137]. Это представление было бы очень удобно для вовлечения в структурные построения на равных правах петрографических и сейсмических границ, но оно не увязывается с рассматриваемыми ниже данными о подвижности сейсмических разделов относительно структуры, определяемой на основании петрографических признаков.

Во-вторых, сейсмические границы могут изменять свое положение относительно слоистой структуры осадочной оболочки вследствие фазовых переходов вещества или вследствие вторичных (глубинных, постседиментационных) его изменений, связанных, например, с замещениями (внедрением и т. д.) одних пород другими или их химическими изменениями с выносом и привносом отдельных компонентов. В данном случае граница будет подвижной относительно слоистой структуры осадочной оболочки, причем перемещение границы будет происходить в зависимости от изменения термодинамических условий.

Подвижность сейсмических границ

Подвижность сейсмических границ относительно геологической структуры биостратиграфической и петрографической природы в настоящее время представляется несомненной. Об этом, в частности,

говорит то обстоятельство, что строение земной коры и ее мощности, устанавливаемые по распределению скорости упругих волн, обнаруживают наиболее близкую связь с особенностями новейших неоген-четвертичных структурных форм, а не с более древней тектоникой.

О подвижности сейсмических границ свидетельствует сокращение мощностей земной коры и даже наличие антиклинальных поднятий поверхности М под многими впадинами. Действительно, если бы сейсмические разделы были закреплены в слоистой структуре осадочной оболочки Земли, то они должны были бы быть погружены под впадинами, следуя форме прогибания. Образование выпуклостей под впадинами естественнее всего связать с подвижностью сейсмических разделов и с приобретением свойств мантии теми породами, которые ранее входили в состав коры. Такое явление иногда именуется «процессом переработки земной коры в мантию».

Дислокации слоистой структуры

Слоистая структура Земли или, точнее, ее слоистые структуры различной специализации и различных порядков являются результатом распределения вещества под эффективным воздействием гравитационного поля планеты.

Сферическая форма планет и слоистость должны появляться при достижении планетой некоторой критической величины ее массы, при которой гравитационное поле становится эффективным в смысле придания планетному телу фигуры гидростатического равновесия и формирования слоистой структуры. Таким образом, слоистость отвечает определенному «уровню организации» планетного тела. Для небольших планетных тел (астероидов), имеющих неправильную форму, слоистость, по-видимому, нехарактерна. Слоистость и сферическая форма планеты тесно связаны друг с другом; обе они являются формами распределения вещества в гравитационном поле.

Слоистая структура может под действием разных факторов испытывать перемещения или дислокации. В результате дислокаций возникают различные формы (складки, разломы и др.). Морфологическая характеристика и классификация их производится во всех учебниках по структурной геологии, поэтому здесь основное внимание уделяется дислокациям в собственном смысле этого слова.

Под дислокациями в геологии обычно подразумеваются перемещения вещества относительно слоистой структуры, обусловленной первоначальным в идеале горизонтальным слоистым распределением этого вещества в условиях гравитационного поля Земли. Созвучный термин «деформация» взят из физики и обозначает изменение формы или объема твердого тела (в геологии — слоя, массива, жилы и т. д.) без изменения его массы. Понятие дислокации в геологическом смысле является весьма содержательным, поскольку отражает перемещение вещества относительно слоистой структуры, которая связана с основными закономерностями строения и развития Земли. Понятие же деформации является более узким и отражает результаты механических перемещений вещества, которые могут рассматриваться вне связи с геологической ситуацией.

Дислокации могут наблюдаться как в гипергенной структуре осадочной оболочки (дислокации слоистых толщ), так и в гипогенных структурах (например, изгибание поверхностей сейсмических разрывов в соответствии с неотектоническими поднятиями, разрывные смещения поверхности Мохоровичича и т. д.). Гипогенные слоистые структуры, а тем более их дислокации изучены еще очень слабо, так как это связано с использованием пока недостаточно широко

применяемых глубинных геофизических исследований, истолкование результатов которых к тому же не всегда однозначно. Дислокациям слоистой структуры осадочной оболочки, которые часто доступны для непосредственного наблюдения и с которыми геолог повседневно сталкивается при геологической съемке и поисках полезных ископаемых, посвящено большое количество обстоятельных описаний, систематизированных в многочисленных руководствах по геотектонике и структурной геологии и в отдельных тектонических работах.

Дислокации слоистой структуры осадочной оболочки часто рассматриваются как главный объект тектоники. Объект тектоники значительно шире и глубже; тектоника исследует не только изменения структуры (дислокации, деформации), но главным образом и прежде всего само строение Земли, ее слоистую структуру, а также пространственные закономерности распределения вещества, в частности горных пород, находящие свое выражение в учении о формациях. Такие фундаментальные понятия тектоники, как понятия о геосинклиналях и платформах, включают в себя все эти направления и могут быть определены только с учетом особенностей геологических формаций и слоистой структуры. Однако в XIX в. и в первой трети XX в. пока учение о слоистой структуре не было развито М. М. Тетяевым, а учение о формациях — Н. С. Шатским, главное внимание в тектонических исследованиях уделялось дислокациям. Дислокации слоистой структуры, как и сама слоистая структура, свойственны любому участку осадочной оболочки Земли, а их формирование, так же как и образование слоев, происходило в течение всего обозримого интервала геологической истории. Это доказывается как наблюдениями над слоистой структурой, которая повсеместно в пределах осадочной оболочки оказывается в той или иной степени дислоцированной, так и измерениями современных движений поверхности Земли, устанавливающими повсеместную ее подвижность. Дислоцированные участки или отдельные тектонические формы по своим размерам могут соответствовать порядкам столь же широкого диапазона, как и слои.

Дислокации могут быть представлены смятиями слоистой структуры, выраженными в прогибах, поднятиях, складках, микроплёчатости (пликативные дислокации), разрывными нарушениями слоистой структуры, отдельных составляющих слоев и различных других тел (дизъюнктивные дислокации), а также магматическими и амагматическими инъекциями и другими видами перемещения вещества одного слоя в пространство другого слоя с образованием тел, обладающих самостоятельными формами залегания (инъективные дислокации). Выделение этих типов дислокаций слоистой структуры вместо обычных двух (дизъюнктивные и пликативные) обеспечивает возможность отнесения любой формы залегания горных пород, кроме совершенно горизонтальной слоистой структуры, к тому или иному типу дислокаций.

Дислокации могут выделяться в качестве условных геологических тел второго типа, чем обусловлена возможность определения

размеров дислокаций, их форм и ориентировки в пространстве. Отдельные элементы дислокаций могут быть выделены в качестве резкостных тел (разломы, имеющие толщину и заполненные инородным материалом; инъективные тела).

Дислокации охватывают по крайней мере несколько слоев осадочной оболочки; слои эти часто испытывают не только механические перемещения, но и изменения состава и внутренней структуры в пределах дислокации по сравнению со смежным участком осадочной оболочки.

Дизъюнктивные дислокации

Дизъюнктивные (разрывные) дислокации (нарушения), к которым относятся трещины, сбросы, надвиги, глубинные разломы и т. д., по своим размерам охватывают столь же широкий диапазон порядков, как и слои, и распространены практически повсеместно. Так, установлено, что мелкая трещиноватость в поверхностных частях осадочной оболочки распространена во всех горных породах, кроме сыпучих несцементированных песков и особо пластичных соленосных толщ при условии, если в них отсутствуют хрупкие прослои. Наблюдения над глубокофокусными землетрясениями периферии Тихого океана показывают, что наиболее крупные разломы, характеризующиеся современной сейсмической активностью, проникают в мантию Земли на глубину до 700 км. Такие разломы иногда называют сверхглубинными. Распространены ли они еще глубже, неизвестно. Возможно, что более глубокому проникновению дизъюнктивных нарушений препятствуют термодинамические условия и состояние вещества в низах мантии. Заложение разломов или движение по ним происходило на протяжении всей геологической истории по крайней мере от верхнего архея вплоть до современной эпохи. Однако нельзя утверждать, что в наиболее ранний, но весьма продолжительный раннеархейский этап ведущая роль в дислокациях земной коры также принадлежала разломам.

Вдоль крупных разломов часто группируются интрузии и очаги вулканических извержений, вдоль более мелких разломов и трещин поднимаются или опускаются разжиженный глинистый материал, пластичные глинистые брекчии, водоносные пески, выдавливается пластичная каменная соль (грязевой вулканизм, нептунические дайки, соляные инъекции).

Отчетливо прослеживается связь многих сбросовых и надвиговых систем со складками. Складки могут быть почти не осложнены сбросами, а в других случаях дизъюнктивные нарушения могут преобладать и сопровождаться лишь незначительно выраженными изгибами слоев явно подчиненного значения.

Тектонические исследования нижних структурных этажей, проводившиеся для крупных и сложно построенных территорий, показывают, однако, что крупные разломы определяют расположение

складок и целых складчатых зон, а не наоборот. Здесь можно сослаться на работу А. В. Пейве [128], а также на исследования Г. Штилле по Америке, Европе и Тихому океану [183], считавших, что направление складчатых зон диктуется направлением краев крупных глыб или направлениями линейментов. К подобным же выводам приходим при анализе докембрийской и мезозойской структуры Сибири и Дальнего Востока, подтверждающего, что геологическая структура этой огромной территории в протерозое имела блоковый характер в пределах как платформенных, так и геосинклинальных областей; причем складки и складчатые зоны формировались в основном в зависимости от дизъюнктивных ограничений блоков. Ведущая роль разломов устанавливается и для более поздних этапов развития различных частей этой территории.

Можно наметить два аспекта в описании разломов. Во-первых, разломы могут рассматриваться как дизъюнктивные границы, сопровождающиеся смещением залеганием разделенных ими геологических границ и тел и т. д. В этом смысле разломы определяют структурные отношения и рассматриваются как поверхности (дизъюнктивные границы), не имеющие толщины. О величине и направлении перемещений по разлому судят по взаимному положению примыкающих к нему смещенных участков нарушенных тел или отрезков одноименных границ, а также по следам механических перемещений в виде штрихов, борозд, трещин и т. д., наблюдаемых на поверхностях разлома.

Во-вторых, разломы можно рассматривать как геологические тела, толщина которых невелика по сравнению с длиной и шириной и которые образовались вследствие различных процессов, связанных с данной границей (минерализация, метаморфизм, метасоматические замещения, дробление, брекчиеобразование, милонитизация и т. д.). При изучении разломов как тел особенно важно обращать внимание на запечатленные в этих телах следы перемещений растворов и пластичных масс горных пород, что важно для исследования глубинных труднодоступных недр земной коры и верхней мантии, а также для разработки представлений о процессах формирования некоторых нефтяных, газовых и рудных месторождений.

Описание разломов как дизъюнктивных границ тесно связано с той слоистой или иной геологической структурой, которая ими нарушена. Вдоль дизъюнктивной границы может быть или не быть смещение. О направлении и величине смещения можно судить на основании сопоставления разделенных дизъюнктивной границей и смещенных вдоль нее участков геологических границ и тел, в частности поверхностей напластования и слоев. При наличии дизъюнктивной границы возникают определенные структурные отношения между разделяемыми ею смежными участками геологических тел, а именно несмещенное и смещенное залегание.

К смещенному залеганию относятся сбросы, надвиги и сдвиги. Сбросы возникают преимущественно на поднятиях в условиях общего растяжения слоев. Они обычны на сводах антиклиналей.

и куполов. Сбросы регионального масштаба связаны с более крупными поднятиями. Надвиги возникают и развиваются преимущественно в районах напряженной тектоники и характеризуют обстановку общего сжатия; в некоторых случаях надвиги могут возникать в результате гравитационного сползания масс (явления надвигания при подводных оползнях). Сдвиги возникают в результате горизонтальных вращательных движений (перекашиваний) в земной коре.

Следует отметить, что один и тот же разлом может быть прослежен в качестве дизъюнктивной границы в пространствах различной специализации, если наблюдаемое распределение соответствующих свойств уже существовало к моменту возникновения данной дизъюнктивной границы. Например, в Волго-Уральской области установлены в пределах чехла разломы, сопровождающиеся разрывами сплошности поверхности M со значительными вертикальными смещениями, развитием основных изверженных пород, магнитными аномалиями и эпицентрами землетрясений [24]. В силу этого положение одного и того же разлома в целом или на отдельных его отрезках можно определить различными методами или различными комплексами методов (сейсмология, сейсморазведка, магниторазведка, геологические съемки и бурение, данные магматизма). Этим же обусловливается возможность широкого применения различных геофизических методов при определении положения крупных разломов. Основная роль здесь принадлежит сейсморазведке, а также истолкованию площадных, линейных и «градиентных» гравитационных и магнитных аномалий [2]. Однако в различных районах в зависимости от местных геологических условий для прослеживания разломов используются различные комплексы геофизических признаков. Так, например, при сейсморазведке в Туркмении в качестве основных критериев для выделения разломов принимались: 1) резкий перепад глубины залегания сейсмических границ, 2) сильное затухание обменных волн, 3) резкое изменение структуры коры в латеральном направлении, проявляющееся в изменении количества сейсмических границ и динамических признаков обменных волн [30]. По данным аэромагнитной съемки для районов Средней Азии принимались такие признаки выделения разломов [52]: 1) линейно-вытянутые аномалии ΔT большой протяженности, 2) сгущения изолиний ΔT , 3) смена простирания осей магнитных аномалий. Для Сибирской платформы в качестве таких признаков были приняты [31]: 1) резкое изменение характера магнитного поля, 2) скачкообразное изменение расчетных глубин до намагнитенных пород, 3) сдвиги осей магнитных аномалий, 4) изменение простирания аномальных зон, 5) специфические изменения линейно-вытянутых аномалий, 6) цепочки аномалий значительного протяжения.

А. Я. Ярош [189] при выделении разломов в фундаменте Русской платформы руководствовался, в частности, сменой структуры, интенсивности простирания магнитных и гравитационных аномалий, гравитационными и геомагнитными ступенями, линейными поло-

сами и цепочками гравитационных и магнитных аномалий, расположением эпицентров землетрясений вдоль зон разломов. Значение гравитационных ступеней в качестве признаков разломов подтверждает В. Е. Хаин [170], считающий, что на Кавказе все гравитационные ступени приурочены к глубинным разломам. Важная роль в установлении положения разломов принадлежит также геоморфологическим методам. Следует подчеркнуть их особое значение при трассировании разломов на дне океанов.

Имея в виду, что слоистая структура выделяется по узкоспециализированным признакам, а блоковая структура — по очень широкому их диапазону, проведем сопоставление блоковой структуры не со слоистой структурой вообще, а только лишь с гипергенной слоистой структурой, выделяемой по петрографическим и биостратиграфическим признакам.

Во-первых, слоистая структура образуется путем последовательного формирования ее элементов (слоев, поверхностей напластования), блоковая же структура образуется в уже сформированной среде (слое, толще слоев и т. д.).

Во-вторых, смежные элементы слоистой структуры после их формирования в процессе дальнейшего развития слоистой структуры не перемещаются друг относительно друга, если не считать возникающих в исключительных случаях особого типа дислокаций (например, межпластовые сдвиги). В противоположность этому смежные элементы блоковой структуры обязательно перемещаются друг относительно друга в течение некоторого времени, которое может быть небольшим, например отвечающим времени цементации, но может быть и огромным, охватывающим 1,5—2 млрд. лет (например, глубинные разломы, ограничивающие Сибирскую платформу, древние зоны разломов докембрия Балтийского щита, пережившие четвертичные и позднеледниковые движения).

В-третьих, как слоистые структуры и их элементы, так и блоковые структуры являются не только многопорядковыми по объемным размерам, но и соразмерными по времени существования, которое для первых отвечает продолжительности формирования, для вторых — продолжительности времени тектонической активности.

Таким образом, слоистая и блоковая структуры представляют явления весьма различные, но их роль в общем структурном развитии осадочной оболочки Земли можно считать в равной степени существенной.

Изучение слоистой структуры служит основой восстановления истории развития осадочной оболочки. Изучение же элементов блоковой структуры и их движений позволяет устанавливать в этом развитии общие черты и общие тенденции на протяжении малых и больших отрезков геологического времени для осадочной оболочки или отдельных ее участков.

Основание для сопоставления блоковой структуры с гипогенной слоистой структурой дает соотношение слоев земной коры и их границ (Конрада, Мохоровичича и др.) с глубинными разломами. Разломы

могут быть подразделены на классы, которые по глубине их проникновения соответствуют отдельным сейсмическим разделам [39]. Получается, что большинство разломов привязано к сейсмическим разделам так же, как нормальные трещины к определенным слоям осадочных пород. Это обстоятельство позволяет слоистую структуру земной коры не рассматривать изолированно от блоковой структуры, а говорить о единой слоисто-блоковой структуре.

Пликативные дислокации

К складчатым (пликативным) дислокациям относятся антиклинальные и синклинальные складки, микроплойчатость, а также крупнейшие поднятия и депрессии (прогибы, котловины, своды, антиклинории, синклинории и т. д.), которые по своим размерам охватывают столь же широкий диапазон порядков, как слои и дизъюнктивные нарушения, и распространены в осадочной оболочке практически повсеместно. Однако в отличие от дизъюнктивных дислокаций, которые могут пересекать как геологические границы, так и массивы горных пород, пликативные дислокации могут быть заметны только там, где имеются резкостные геологические границы или ориентированные внутренние структуры геологических тел. Именно по изгибам геологических границ мы судим о пликативных дислокациях.

Слои осадочной оболочки повсеместно образуют резко или слабо выраженные изгибы (складки) различных размеров и формы. Даже такие наиболее плоские участки, как чехлы платформ, могут быть полностью подразделены на крупные пологие изгибы — складки, поднятия и впадины, соответствующие синеклизам и антеклизам.

Изгибы или складки могут возникать в процессе гравитационного распределения вещества при образовании слоя и отражать местную нерегулярность такого распределения. В этом случае складки представляют собой первичные усложненные формы слоя в слоистой структуре. Однако в подавляющем большинстве они являются результатом механических воздействий на слоистую структуру осадочной оболочки и их можно подобно дизъюнктивам рассматривать как следствие различных нарушений гравитационного равновесия, происходящих в течение всей геологической истории.

Экспериментальные и полевые исследования распределения вещества в слое, образующем складки, возникающие в результате дислокаций, показывают, что изгибание слоев часто сопровождается некоторым перераспределением материала, слагающего слои. Перераспределение материала при дисгармонической складчатости может выражаться в его перетекании в участки слоя, испытывающие относительно меньшие давления, а иногда и во внедрении материала одного слоя в пространство, занимаемое другим слоем. Таким образом, формирование складок представляет собой сложный механический процесс. Перераспределение материала — это одно из главных свойств складок в районах с интенсивной складчатостью; в райо-

нах с пологой складчатостью перераспределение материала сравнительно мало заметно или даже отсутствует.

Обычно перераспределение материала при изгибе заключается лишь в перекашивании (сдвиге) на крыльях складки, что сопровождается уменьшением мощности слоев и некоторым их растяжением, а также некоторым проскальзыванием разнородных слоев относительно друг друга по разделяющим поверхностям напластования. Чем напряженнее деформация, чем круче изгибы, чем разнороднее комплекс участвующих в складкообразовании слоев, тем этот процесс сложнее. Явления внутрислойного и межслойного перераспределения материала, зафиксированные в геологических разрезах складчатых районов, позволяют расшифровать особенности механизма формирования складок.

Другим важным свойством некоторых складок является распределение первичных мощностей и литологических (а иногда и палеонтологических) характеристик слоев в соответствии с положением изгибов, причем на антиклиналях, как правило, наблюдается уменьшение мощностей, а в синклиналях — увеличение. Существование таких закономерных связей величины мощностей слоев со складками указывает на то, что данные складки формировались одновременно с осадконакоплением. Изменения мощностей и литологического состава слоев, связанные со складками, позволяют расшифровывать особенности развития складок в эпохи геологической истории.

В разных участках осадочной оболочки складчатость проявлялась неравномерно. Поэтому существуют площади, характеризующиеся интенсивной складчатостью, и площади с очень спокойной складчатостью в пределах одного и того же стратиграфического подразделения. Кроме того, в одной и той же области различные стратиграфические системы (отделы, ярусы) могут резко отличаться по интенсивности складчатости. Для того чтобы исследовать особенности и закономерности распределения складок, необходимо выяснить их связи с крупными вмещающими структурными формами, а также со строением нижних структурных ярусов.

Пликативные дислокации слоистой структуры в своей совокупности образуют складчатую структуру осадочной оболочки. Складчатая структура является одновременно и слоистой структурой, так как ее элементами также являются слои, однако слои изогнутые и каким-либо образом трансформированные. Степень изогнутости (наклоны крыльев, размеры складок, «плотность» расположения складок) и трансформированность (искажение мощностей, выжимание слоев, пространственные изменения мощностей на конседиментационных складках, явления неравномерного уплотнения и т. д.) позволяют судить о деформациях слоистой структуры (сжатие, растяжение, сдвиг), интенсивности деформаций в различных участках (зоны линейной складчатости и т. д.) и на различных уровнях (складчатость в различных структурных этажах).

Пликативные дислокации в отличие от дизъюнктивных не нарушают связей слоистой структуры, поэтому не разделяют осадочную

оболочку на участки, подобные блокам. Исследование пликативных дислокаций способствует выяснению динамики развития геологической структуры в пределах блоков, ограниченных дизъюнктивными границами или в зонах, расположенных вдоль этих границ. Вместе с тем складчатые формы, осложняющие слоистую структуру в пределах блоков, могут быть в свою очередь нарушены дизъюнктивами, по которым обособляются блоки высших порядков.

Если изучение слоистой и блоковой структуры позволяет выяснять историю развития осадочной оболочки Земли, то изучение складчатой структуры — динамические условия существования осадочной оболочки на различных ее этапах.

В эпоху господства контракционной гипотезы, когда боковое сжатие считалось главной причиной, изменяющей лик Земли, когда складчатость считалась «сжатием горных пород в более узкую область» [183, стр. 56], исследование складчатых структур лежало в основе тектонического изучения Земли. Впоследствии изучение слоистой структуры, мощностей слоев и т. д. (М. М. Тетяев) и глубинных разломов (Н. С. Шатский, А. В. Пейве) способствовало выяснению роли вертикальных движений блоков в развитии осадочной оболочки. Эти явления стали считаться доминирующими, складчатость же — производным явлением и ей уделялось недостаточное внимание. Теперь установлено, что складчатость: 1) может быть связана с любым реальным механизмом деформаций слоистой структуры; 2) проявляется в пределах континентальных массивов в любых участках осадочной оболочки, в том числе и на платформах, которые ранее считались нескладчатыми; 3) проявляется с разной интенсивностью на всем протяжении времени формирования осадочной оболочки. Поэтому складчатость можно рассматривать как универсальное явление, и исследование складчатой структуры и ее развития может являться одной из важных основ для реконструкции динамической истории осадочной оболочки Земли. Действительно, представление о динамической истории осадочной оболочки как смене кратковременных орогенических фаз длительными анорогенными периодами было основано на исследовании складчатости при признании единого механизма ее формирования. Эти представления пока не опровергнуты, хотя высказано очень много справедливых соображений об их несостоятельности и приведены факты, существенно противоречащие канону Г. Штилле. Очевидно, пришло время, когда необходимо пересмотреть представления об истории складчатости (фазы, темп и т. д.), исходя из признания множественности механизмов ее формирования.

Инъективные дислокации

Помимо дизъюнктивных и пликативных дислокаций, являющихся главным образом результатом перемещения участков слоистой структуры (или геологических границ и тел вообще), следует выделять еще одну форму дислокаций — инъективных, заключающуюся во

внедрении или проникновении вещества одного (или одних) геологического тела (слоев) в пространстве, занимаемое другими геологическими телами (слоями). К таким дислокациям, называемым инъективными, относятся диапировые складки, магматические интрузивные тела, трещинные магматические и соляные инъекции, нептунические дайки, некки и т. д. Рассматриваемые дислокации представляют собой главным образом результат проникновения вещества нижних слоев в пространство верхних слоев, перемещения его снизу вверх в направлении наименьшего сопротивления. Многие инъективные дислокации сопровождаются проникновением вещества по латерали и вниз. Дислокации рассматриваемого типа, подобно дизъюнктивным дислокациям, сопровождаются разрывами сплошности слоистой структуры, но в отличие от дизъюнктивных дислокаций они обязательно сопровождаются образованием в результате аккумуляции вещества, проникающего из одних слоев в другие, новых геологических тел с самостоятельной формой залегания.

Между инъективными дислокациями, с одной стороны, и дизъюнктивными и пликативными, — с другой, нельзя провести резких границ. Ядра дисгармоничных складок часто сопровождаются внедрением вещества нижних слоев в пространство верхних и представляют собой, таким образом, зародышевые формы диапировых ядер. Кстати, заметим, что, по Г. Штилле [183], инъекции магмы и даже ее поверхностные излияния могут считаться крайней формой дисгармоничной складчатости. Разломы, в полости которых внедрился пластичный, жидкий или брекчированный магматический или осадочный материал, могут рассматриваться как трещинные инъекции. Таким образом, инъективные дислокации находятся в очень тесной связи с дизъюнктивными и пликативными дислокациями и сочетаются с ними. К инъективным дислокациям должны быть отнесены также пластовые интрузии — силлы, которые становятся слоями — членами той слоистой структуры, в которую они внедрились. Однако эти члены неполноправны с основными членами слоистой структуры, поскольку на них не распространяется закон последовательности напластования. К инъективным дислокациям можно было бы отнести внутриформационные тела тектонических и кристаллизационных брекчий, а также внутриформационные тела мигматитов и анатектитов в толщах гиперстеновых сланцев. Эти тела могут рассматриваться в петрологическом аспекте, т. е. с точки зрения образования новых горных пород тектонического или ультраметаморфического происхождения, но могут рассматриваться и как результат перемешивания материала отдельных прослоев внутри толщи и проникновения материала одних прослоев в пространство других. Однако поскольку они не образуют тел с самостоятельными формами залегания, мы не будем их относить к инъективным дислокациям, считая более правильным рассматривать их в аспекте петрологическом.

С перемещением материала нижних слоев в пространство верхних связано возникновение различных компенсационных опусканий, сопутствующих некоторым видам инъективных дислокаций (напри-

мер, краевые синклинали на соляных куполах, синклинальные вдавленности на грязевых вулканах, кальдеры, вулcano-тектонические депрессии и т. д.).

Если дизъюнктивные и пликативные дислокации в осадочной оболочке являются повсеместными, то распространение инъективных дислокаций более ограничено. Действительно, не во всех участках осадочной оболочки и далеко не всегда происходит внедрение магм, а соляные и глиняные диапиры известны лишь в некоторых районах, и появление их всегда связано с наличием соответствующих осадочных формаций (например, соленосных) и благоприятных тектонических условий.

Геологические тела (ядра протыкания, интрузивные массивы, дайки) и тектонические формы (диапировая складка, соляные купола), связанные с инъективными дислокациями, по своим размерам охватывают значительно меньший диапазон порядков размеров, чем дизъюнктивные и пликативные формы. Размеры их, как правило, не превышают третьего—четвертого порядка; лишь размеры наиболее крупных батолитов и соляных куполов типа чалкарского и баскунчакского восходят к третьему порядку. Инъективные дислокации могут возникнуть в результате различных процессов и в соответствии с этим могут обладать различным механизмом. К причинам, порождающим эти дислокации, можно отнести: а) механическое выдавливание пластических масс (глиняные диапиры, дайки брекчий, некоторые тела ультрабазитов); б) внедрение расплавов магматических пород с механическим раздвиганием пространства вышележащих осадочных толщ (силлы, лакколиты) или с поглощением и ассимиляцией этих пород (штоки, некоторые батолиты); в) внедрение легких пород в пространство залегающих выше слоев, сложенных более плотными породами, вследствие гравитационного всплывания (соляные массивы); г) внедрение в полости трещин в жидком состоянии (магматические и непунические дайки); д) перенос вещества в растворенном виде или в ионной форме из нижних слоев и аккумуляции его в верхних слоях с образованием геологических тел соответствующего состава (гранитные батолиты метасоматического происхождения).

По-видимому, должна быть принята какая-то общая система терминов для описания инъективных дислокаций, подобная тем системам, которые применяются для дизъюнктивных и пликативных дислокаций (ось, шарнир, крыло, замыкание, сбрасыватель и т. д.). Например, в данном случае можно было бы говорить об инъективном теле (ядро протыкания, соляной шток, гранитный массив, жила), его крыльях, образованных вмещающими породами, и апикальной зоне.

Класс инъективных дислокаций объединяет две основные группы, почти всегда рассматриваемые отдельно: 1) группу дислокаций, связанных с перемещением осадочных пород или осадочного материала (диапировые ядра, соляные массивы, непунические дайки и т. д.), и 2) группу дислокаций, связанных с перемещением магма-

тических масс. Дислокации обеих групп обладают некоторыми общими чертами, что позволяет использовать сравнительный метод при исследовании процессов, создающих дислокации как первой, так и второй групп.

Исследование, описание, классификация и типизация дислокаций весьма важны в теоретическом и практическом отношениях:

1. Изучение дислокаций позволяет определить для любого исследованного участка осадочной оболочки Земли ту структурную характеристику, которая, наряду с данными исследования вещественного состава принимается за основу районирования осадочной оболочки по структурно-вещественным признакам. Такое районирование, как будет показано ниже, во-первых, необходимо для прогнозирования полезных ископаемых, во-вторых, для реконструкции истории развития осадочной оболочки Земли.

2. Изучение дислокаций имеет непосредственное значение для поисков полезных ископаемых.

С дизъюнктивными дислокациями связаны многие рудные месторождения и рудные пояса. Исследованию связи рудопроявлений с глубинными разломами посвящено большое количество работ по разнообразным в тектоническом отношении районам платформенных и геосинклинальных областей. Почти во всех современных исследованиях по закономерностям размещения рудных месторождений, вопросу связи их с глубинными разломами придается первостепенное значение. Известно, например, что 84% изученных постмагматических рудных месторождений мира установлено вдоль разломов и на их пересечениях [176]. Данные, полученные при исследовании Урала [7], доказывают пространственную и генетическую связь рудных месторождений с глубинными разломами; это подтверждается расположением рудосыпных интрузивных массивов и вулканогенных комплексов непосредственно в зонах разломов, а также сосредоточением в зонах разломов магматических, контактово-метасоматических и гидротермальных месторождений с взаимными их переходами и наложением одного типа минерализации на другой. Интересно, что иногда внутри зон разломов в 10—100 раз повышается содержание элементов-примесей — меди и молибдена, а также появляются элементы As, Ag, обычно не наблюдаемые за пределами этих зон. Над дорудными разломами Ауэрбаха-Туркинского, Магнитогорского и других рудных полей наблюдаются повышенные содержания элементов-примесей, дающие на диаграммах отчетливые пики, важные для диагностики рудоконтролирующих разломов.

В Приморье [127] оруденение контролируется структурными швами и разломами, ограничивающими молодые наложенные впадины. Любопытна замеченная закономерность, что от рудоконтролирующих разломов оруденение значительно более распространено в сторону молодой складчатой области или наложенной впадины,

чем в сторону ранее консолидированной области. Распределение рудопроявлений вдоль геосинклинальных систем определяется также поперечными глубинными разломами, как это установлено для Урала [178].

В ряде случаев глубинные разломы в геосинклинальных областях не только являются границами зон с различным характером минерализации, но и сами контролируют особый тип минерализации. Например, Иртышская зона разломов отделяет Алтайский полиметаллический пояс от Калбо-Нарымского редкометального пояса, а сама представляет зону золоторудной и пирротиновой минерализации. Джалаир-Найманская зона разломов (Казахстан) отделяет редкометальную зону Бетпак-Далы от магнетит-гематитовой зоны Кандыкты, а сама содержит проявления хрома, никеля, платиноидов и золоторудной минерализации [111]. Иногда к крупным разломам пространственно приурочены цепочки нефтяных и газовых месторождений (система разломов Мексика—Балконис, Жигулевско-Мухановская зона дислокаций и др.).

К крупным зонам разломов, включающим как системы дизъюнктивов, так и зоны смятия, расщепления и трещиноватости, приурочиваются рудные пояса. Рудный пояс, по Г. И. Князеву [85], обычно выступает как ограничение блока и является замкнутым. Этому не противоречит то, что некоторые интервалы таких поясов по периметрам блоков могут быть прерывистыми или пустыми в силу различных неблагоприятных причин. Г. И. Князев предлагает выделять: 1) планетарные рудные пояса (Тихоокеанский, связанный с окаймляющими Тихий океан зонами разломов); 2) рудные пояса, протягивающиеся вдоль краев платформ и щитов (совокупность рудных провинций периферии Сибирской платформы); 3) рудные пояса, окаймляющие срединные массивы (Колымский массив, Трансильванский массив, плато Колумбия, плато Колорадо); 4) рудные пояса по периферии более мелких консолидированных массивов (Агинский и Шилкинский в Восточном Забайкалье); 5) рудные пояса по периферии небольших блоков.

Линейные рудные пояса выделяются во многих складчатых областях (Кавказ, Урал, Средняя Азия, Алтай, Дальний Восток). Они могут входить в состав замкнутых поясов, но могут иметь совершенно самостоятельное значение.

Связь линейных и замкнутых рудных поясов с глубинными разломами различных рангов является важнейшей тектонической закономерностью размещения рудных месторождений.

Изучение п л и к а т и в н ы х д и с л о к а ц и й при поисках и разведке полезных ископаемых имеет по крайней мере двойное значение: структурное и поисковое.

Поясним структурное значение изучения пликативных дислокаций. Выяснение морфологии складок существенно для определения глубины залегания и доступности для разработки полезных ископаемых, образующих пластовые залежи. Например, залежи каменных углей могут быть доступными на сводах антиклиналей и на крыльях

складок, но могут быть не доступными в синклиналях из-за большой глубины залегания. Изучение сложных складок в ядрах соляных антиклиналей и куполов весьма важно при проектировании и проходке горных выработок в шахтах, заложенных для разработки пластов калийных солей.

Поисковое значение изучения морфологии складок выступает в тех случаях, когда залежи полезных ископаемых приурочены к определенным частям складок. В первую очередь это касается нефти и газа, для которых своды антиклинальных складок могут быть естественными траппами, местами аккумуляции нефти и газа в результате гравитационного перераспределения флюидов (нефть, газ, вода) в пластах пористых и проницаемых пород. При равномерной проницаемости продуктивных пластов и при простых формах складчатости, не осложненных дизъюнктивными дислокациями, залежи нефти или газа могут строго соответствовать сводовым частям антиклиналей. При изменении состава пласта по латерали с уменьшением его проницаемости или в случае выклинивания пласта положение залежи нефти (газа) определяется как формой антиклинали, так и особенностями литологии пласта. В складках, нарушенных сбросами (надвигами), положение залежи нефти (газа) может отчасти контролироваться дизъюнктивами, которыми пористые нефтегазо-содержащие пласты могут быть смещены и «запечатаны»; в таком случае путь нефти, мигрирующей в силу гравитационного перераспределения к своду складки, может быть прегражден (экранизирован) дизъюнктивом.

С антиклинальными и синклинальными складками также связаны рудные месторождения. Примером служат седловидные жилы, которые, в частности, могут быть золоторудными.

Изучение складчатой структуры важно для решения вопросов водоснабжения, поскольку с крупными синклинальными складками обычно связаны бассейны артезианских вод.

С инъективными дислокациями связаны разнообразные рудные месторождения (золота, олова, вольфрама, молибдена и др., приуроченные к гранитным массивам), нефть, газ, калийные соли и бариты, связанные с соляными куполами, залежи нефти и газа в диапировых складках и т. д.

3. Изучение дислокаций, их типов, интенсивности и распределение по вертикальному разрезу — структурным этажам и в латеральных направлениях, является основой для реконструкций истории земной поверхности и отдельных ее участков. Исследования дислокаций дают основания для суждения о наличии фаз складчатости, их вертикальном и латеральном распространении, о ритмичности тектонического процесса, о знаке и интенсивности вертикальных движений, о горизонтальных перемещениях земной поверхности в геологическом прошлом.

Тектоническое картирование

Тектоническое картирование складывается из тектонического районирования и последующего более детального изображения выделенных структурных элементов.

Тектоническое районирование представляет собой частный случай элементаризации статического геологического пространства. В этом смысле процедура тектонического районирования сходна с процедурой стратиграфического расчленения разреза. Однако, если при расчленении разреза мы оперируем с одномерным пространством, то при тектоническом районировании с трехмерным или по крайней мере с двумерным. Расчленение разреза основывается, как правило, на распределении значений свойств, измеряемых в формальных точках, а тектоническое районирование производится на основании значений свойств, определяемых на телах. Расчленение разрезов можно провести на основании, например, замеров (или определений) петрографического состава, электрического сопротивления или свойств иной специализации, для тектонического же районирования большое значение имеют не только петрографический состав, но также размеры тел данного состава, последовательность этих тел (например, ритмы во флише), их форма, характер нарушений границ (дислокации), т. е. структурно-вещественные признаки.

В приведенном сравнении имелся в виду лишь один, правда, наиболее широко используемый способ тектонического районирования по структурно-вещественным признакам.

Существуют и другие способы тектонического районирования. Можно проводить районирование, абстрагируясь от вещественного состава пород, определяемого в какой-либо специализации, а основываясь только на форме геологических тел и границ. Возможно тектоническое районирование по динамическим (интенсивность современных движений, сейсмичность), а также по реконструированным ретроспективным характеристикам.

Однако, каким бы способом ни проводилось тектоническое районирование, для него могут быть указаны некоторые общие принципы. При изложении этих принципов будем опираться в основном на опыт составления карт по структурно-вещественным признакам, поскольку такие карты наиболее распространены и наиболее отвечают решению важнейшего вопроса практической геологии — поискам полезных ископаемых.

В результате тектонического районирования выделяются структурные элементы осадочной оболочки Земли (в отдельных случаях — земной коры) для картируемых территорий. Такими структурными

элементами являются, например, области докембрийской, байкальской, каледонской и других складчатостей, показанные на картах обычно различным цветом. В качестве структурных элементов могут выделяться также платформенные и геосинклинальные области и их подразделения, континентальные, океанические и промежуточные типы коры и т. д.

Выделенные структурные элементы могут быть охарактеризованы более детально, т. е. описаны. На тектонических картах эта задача осуществляется изображением некоторых дополнительных данных, характеризующих состав и их внутреннюю структуру (контуры или направления осей тектонических форм, формационные характеристики, включения массивов магматических пород и каменной соли, стратоизогипсы, изображающие внутреннюю структуру чехлов и т. д.). Например, на Международной тектонической карте Европы 1964 г. [112] для описания структурных элементов использованы условные обозначения восьми типов формаций и тринадцать систем стратоизогипс (чехол Русской платформы).

При формулировке общих принципов тектонического картирования будем иметь в виду, что оно сводится к элементаризации геологического пространства и описанию геологических тел (выделенных структурных элементов). Можно наметить следующие общие принципы тектонического картирования:

П р и н ц и п с п е ц и а л и з а ц и и, охарактеризованный выше, является руководящим при тектоническом районировании. В применении к тектоническим картам он означает, что все границы между структурными элементами должны иметь одну и ту же геологическую природу, т. е. определяться по фиксированному списку свойств (признаков). Если границы (элементаризация пространства) проводятся по каким-либо определенным, например структурно-вещественным, признакам, то при их проведении могут быть использованы в качестве подсобных несобственные признаки (например, геофизические) при условии установления их корреляционных соотношений с основными признаками и их интерпретации на языке этих признаков. Таким путем иногда проводятся границы между различными складчатыми комплексами (каледониды, герциниды и т. д.) под чехлами молодых платформ, а также границы структурных элементов в пределах шельфов.

Несоблюдение принципов специализации при составлении тектонических карт ведет к выделению на одной и той же карте несравнимых структурных элементов различной геологической природы. Это имеет место на ряде карт, охватывающих континентальные и океанические области. На таких картах [152, 153] районирование континентальных пространств проводится по структурно-вещественным признакам или по возрасту «главной» складчатости, а районирование океанов по геоморфологическим признакам. В данном случае мы имеем не единые карты — модели для континентов и океанов, не карты, которые позволили бы проводить генеральный сравнительный анализ структурных элементов осадочной оболочки

Земли, а «стыкованные» карты, основанные на совершенно различных признаках и не создающие основы для совместного анализа континентальных и океанических структурных форм.

Принцип соразмерности является также руководящим при тектоническом районировании и выделении структурных элементов осадочной оболочки и земной коры. При рассмотрении вопроса о геологической структуре уже отмечалось, что структурные элементы сложного геологического тела или части геологического пространства должны выделяться в определенном диапазоне размеров (например, в пределах одного или двух порядков или иначе выбранной градации). Более мелкие тела, выходящие за пределы этого диапазона, должны рассматриваться в качестве включений. В соответствии с принципом соразмерности при тектоническом районировании должны выделяться только структурные элементы, отвечающие этому требованию. Диапазон размеров (градация) при этом должен быть определен так, чтобы геологические тела, выделяемые в качестве структурных элементов, обладали бы особенностями состава и строения, отличающими их от геологических тел больших или меньших размеров. Представления о геологическом развитии структурных элементов (ретроспективные конструкторы) всегда основываются на исследовании состава и строения (базисные данные). Поэтому реконструированное происхождение и развитие структурных элементов данной градации будет также отличаться от происхождения и развития геологических тел больших и меньших размеров. Например геосинклинали, геоантиклинали и т. д., принимаемые как структурные элементы, определенные по вещественному составу, слагаются из геологических формаций, при изучении соотношений которых выясняются особенности формирования этих структурных элементов, такие, как эволюция проявлений магматизма, смена основных морфологических типов земной поверхности и т. д., т. е. событий, играющих важную роль в формировании осадочной оболочки в целом.

Геологические формации, рассматриваемые как структурные элементы, принадлежат к иной градации (рангу) геологических тел по размерам. При исследовании соотношения слоев, пачек и массивов, слагающих формацию, выясняются особенности развития формации, связанные, например, с изменением палеогеографической обстановки, изменением рельефа в пределах данного основного морфологического типа, эволюцией магматических очагов и т. д. Изучение отдельных, небольших по сравнению с размерами формаций, слоев и массивов, образующих следующую градацию, позволяет выяснять более частные закономерности, связанные, например, с формированием данного слоя (роль течений, особенности диагенеза, рассортировка терригенного материала и т. д.) или массива.

Выделение при тектоническом районировании структурных элементов, принадлежащих к различным градациям (рангам), и сопоставление их непосредственно друг с другом может привести к смешению понятий и путанице в раскрытии закономерностей, поэтому,

по-видимому, необходимо при тектоническом районировании придерживаться определенного порядка: вначале выделять структурные элементы одного ранга; затем представлять эти структурные элементы, как сложные тела, выделяя в их пределах структурные элементы следующего ранга, и т. д. Таким образом, тектоническое районирование должно быть как бы многоступенчатым, причем в каждом ранге перед ним должны ставиться самостоятельные задачи.

На обзорных тектонических картах обычно выделяются в качестве структурных элементов первого ранга области разновозрастных складчатостей, показанные различными цветами, а в качестве структурных элементов второго ранга — структурные этажи в складчатых областях, чехол и фундамент на платформах. Например, геосинклинальные области — геосинклинальные системы — геосинклинали. Таким образом, на тектонических картах находит отражение иерархия структурных элементов.

Принцип целесообразности в отличие от двух приведенных выше принципов касается не только районирования (элементаризация пространства, выделение геологических тел), но также и описания структурных элементов.

Принцип целесообразности при тектоническом районировании заключается в требовании выбора такого делящего признака (или списка признаков), который обеспечил бы тектоническое районирование, наиболее отвечающее задачам исследования.

При геологическом районировании могут ставиться те или иные частные задачи. Например, для определения особенностей и стоимости строительства сооружений районирование проводится с выделением районов различной балльности землетрясений. Для изучения глубинного строения районирование можно проводить по типам строения земной коры, по соотношениям мощностей «гранитного» и «базальтового» слоев и земной коры в целом, для изучения распространения складчатостей — по типам складчатости, для решения ряда гидрогеологических и инженерно-геологических вопросов — по типам и интенсивности трещиноватости.

Исходя из соображений целесообразности, вытекающей из народнохозяйственных задач, понятно, что из многочисленных тектонических районирований (по типам складчатости, по ориентировке линейных элементов структуры, по способности к дальнейшим деформациям и т. д.) районирование по формационному составу оказывается наиболее жизненным.

Целесообразность проведения тектонического районирования и выделения структурных элементов осадочной оболочки именно по формационному составу обусловливается тем, что главной задачей геолога являются поиски полезных ископаемых, установление закономерностей их размещения и решение различных (стратиграфических, литологических, структурных и т. д.) вопросов, помогающих устанавливать эти закономерности.

Принцип целесообразности применительно к описанию заключается в выборе таких структурных и вещественных признаков,

которые наиболее существенны при описании структурных элементов в соответствии с принятыми целями исследования. Например, если данные тектонической карты должны рассматриваться как основа для поисков и прогнозов нефтяных и газовых месторождений, то на ней полезно показать распространение и контуры локальных поднятий и стратоизогипсы горизонтов, наиболее перспективных с точки зрения поисков нефти (структурные признаки), а также типы и распространение коллекторов и толщ, богатых органическим веществом (вещественные признаки). Если карта представляет собой основу для поисков рудных месторождений, то важно показать распространение массивов изверженных пород различного формационного типа, расположение глубинных разломов, древние эруптивные аппараты и т. д.

Принцип однородности описания. В идеале на тектонической карте все структурные элементы должны быть описаны однородно, т. е. для каждого элемента должны быть охарактеризованы одни и те же структурные и вещественные свойства с равной точностью и степенью детальности. Однородное описание позволяет сравнивать структурные элементы, классифицировать, проследить их связи. Различная изученность охватываемых картой районов делает эту задачу трудноосуществимой. Поэтому можно ограничиться требованием, чтобы по крайней мере некоторые элементы были бы описаны однородно. Тогда сравнение и классификацию можно проводить если не для всей карты, то хотя бы для отдельных групп выделенных на ней структурных элементов. Примером несоблюдения принципа однородности описания является изображение древних платформ на одной из ранее изданных тектонических карт СССР, когда на Русской платформе чехол был выделен как трехмерное тело, охарактеризована его мощность (точнее глубины залегания фундамента) и несколькими системами стратоизогипс показана внутренняя структура; для Сибирской платформы показан план эрозионного среза чехла, т. е. упрощенная геологическая карта. На карте не содержится данных для сравнения этих двух структурных элементов. Тектонические карты Русской и Сибирской платформ в данном случае являются не частями единой карты, а различными несравнимыми картами, нанесенными на одно полотно.

Соблюдение принципа однородности описания является необходимой предпосылкой возможности осуществления сравнительного анализа структурных элементов, выделенных на карте.

Тектоническое районирование по различным признакам

Тектоническое районирование может проводиться по статическим, динамическим и ретроспективным характеристикам. Обычные тектонические карты представляют собой модели статических систем. Среди них можно различать карты, на которых районирование про-

водилось по структурным (геометрическим) признакам, и карты, построенные по структурно-вещественным (формационным) признакам. На картах этих двух типов в качестве делящего часто применяется признак «возраста складчатости» или «возраста основной геосинклинальной складчатости». Поскольку возраст может рассматриваться как результат некоторой ретроспективной реконструкции, казалось бы и карты с районированием по возрасту складчатости должны отражать ретроспективные системы. Однако это не совсем так. Дело в том, что термином «возраст складчатости» по существу кодируется некоторая ситуация в статическом геологическом пространстве, охарактеризованном структурными или структурно-вещественными признаками.

Действительно, если под областями байкальской, каледонской, герцинской и т. д. складчатостей понимают складчатые комплексы, ограниченные сверху изохронными поверхностями, то легко видеть, что эти поверхности не являются подлинно изохронными, а лишь представляют собой границы тел биостратиграфической природы (системы, отделы, ярусы), выделенные в статическом геологическом пространстве. Термин «возраст складчатости» представляет лишь условный индекс, принятый для обозначения такой ситуации.

Составление тектонических карт крупных территорий с учетом распространения различных геологических формаций показывает, что понятие «возраст складчатости» в его отражаемом на картах смысле является скольльзящим не только относительно «подлинных» изохрон (которые крайне трудно, если не невозможно реконструировать), но и относительно биостратиграфических границ. Скольжение это может быть весьма значительным. Так, поверхность складчатых комплексов, относимых к герцинским, в Западной Европе отвечает границе между нижним и средним отделами каменноугольной системы, а на Урале — границе между нижним и средним отделами триасовой системы.

Тектоническое районирование осадочной оболочки может сводиться к выделению крупных тектонических форм по структурным (геометрическим) признакам, например к выделению прогибов, поднятий (сводов), областей с горизонтальным залеганием слоев, крупных грабен и горстов и т. д. У Э. Ога [123] и его предшественников Д. Холла и Д. Дэна явно преобладают геометрические критерии при пространственном выделении геосинклиналей и геоантиклиналей, которые, таким образом, выступают в качестве тектонических (структурных) форм. «В противоположность геосинклиналям выпуклый изгиб земной коры Дэна называет геоантиклиналью. . . геосинклиналь и геоантиклиналь не всегда представляют простую складку. . . каждая из них может состоять из неопределенного числа антиклиналей и синклиналей, вся совокупность которых представляет или синклинальный или антиклинальный выгиб» [123, стр. 173]. Согласно Э. Огу, главным отличием «континентальных площадей» от геосинклиналей, где напластования сильно смяты

в складки, является сохранение ими горизонтального положения при наличии незначительной волнистости.

Геометрический признак доминировал также при выделении М. М. Тетяевым [159, стр. 212] складчатых зон и платформ — «платформа есть выражение исторического факта горизонтального залегания отложений определенного возраста». Г. Штилле [183] в основу выделения кратонов и ортогеосинклиналей кладет их жесткость, способность к складчатости. Кратоны, согласно Г. Штилле, не способны более к складкообразованию. В последние годы продолжают появляться высказывания о том, что тектонические карты должны отражать прежде всего возраст и формы деформаций, а метаморфизм, магматизм и состав осадков имеют лишь второстепенное значение [53, 101].

На геометрических признаках основана схематическая карта СССР М. М. Тетяева 1933 г. [156], на которой выделены области распространения наиболее молодых (для данной области) дислокаций — предкембрийская, каледонская, герцинская и альпийская. Это — карта по возрасту складчатости. Она по существу отражает ярусное строение осадочной оболочки Земли, охарактеризованное степенью дислоцированности. Так, предкембрийские складчатые зоны отвечают такой структуре оболочки, в которой предкембрийские толщи дислоцированы, а фанерозойские — не дислоцированы (слабые платформенные изгибы здесь не учитываются), каледонские зоны соответствуют дислоцированности докембрийских и нижнепалеозойских толщ и недислоцированности верхней части палеозойской, а также мезозойской и кайнозойской групп и т. д.

В практике тектонического картирования последних десятилетий стали доминировать структурно-вещественные признаки, в частности при выделении и характеристике платформенных и геосинклинальных областей.

Геосинклинали и платформы, определявшиеся вначале в основном как геометрически охарактеризованные тектонические формы, выступают теперь как геологические тела, охарактеризованные своим вещественным составом и обладающие определенной структурой. Следует отметить, что не всегда геосинклинальным и платформенным областям, понимаемым как определенные вещественные ассоциации, свойственны именно те структурные формы, которые им традиционно приписывались. Так, например, обычно считалось, что глубокие прогибания (до 8—10 км) свойственны исключительно геосинклинальным областям. У Ю. М. Шейнманна [181, стр. 464], характеризующего докембрийские образования Южной Африки, находим: «Огромная мощность этих накоплений (до 10 км) не оставляет сомнений в их геосинклинальном характере». Однако известны факты накопления весьма больших мощностей не только в геосинклиналях, но и на платформах. Например, по данным сейсмозведки мощности пермских и мезозойско-кайнозойских отложений Прикаспийской впадины Русской платформы превышает 10 км. В связи с этим А. Л. Яншин [188] справедливо отмечает, что большие

мощности осадков нельзя считать одним из критериев геосинклинального режима. «Детальное изучение геосинклинальных систем, — пишет он, — давно уже обнаружило локальное распространение в них зон мощного накопления осадков того или иного возраста. Разрезы многих геосинклиналей оказались сходными по мощностям с разрезами платформенных антеклиз. А теперь глубокое бурение и сейсмика позволяют нам впервые ознакомиться с разрезами областей глубокого прогибания на платформах» [188, стр. 72]. Не только глубина прогибания, но и интенсивность складчатости не представляет надежного критерия для разграничивания платформенных и геосинклинальных областей, охарактеризованных определенными вещественными ассоциациями. Так, в пределах платформ существуют складчатые зоны с протяженностью и шириной, измеряемыми сотнями километров, и с углами наклона крыльев складок, измеряемые несколькими десятками градусов (складчатые системы юры, Ангаро-Ленской зоны на Сибирской платформе и ряда районов Южно-Китайской платформы).

Таким образом, для выделения геосинклинальных и платформенных областей, понимаемых как комплексы формаций, вещественный признак следует считать определяющим, а структурный сопутствующим. Это, конечно, не означает, что осадочную оболочку нельзя районировать по структурному признаку (по «плотности» складчатости, средним углам наклона слоев и т. д.), однако районирование по структурно-вещественным признакам имеет ряд преимуществ. Так, формационный метод не только позволяет выделять структурные элементы осадочной оболочки, но создает принципиальную возможность объемного районирования осадочной оболочки, при котором в качестве структурных элементов выступают трехмерные геологические тела, образованные определенными ассоциациями геологических формаций. Такими элементами могут быть выделяемые по формационному (структурно-вещественному) признаку структурные этажи или складчатые и покровные комплексы, образующие в осадочной оболочке систему крупных линзовидных или плоских геологических тел, изучение состава и пространственных взаимоотношений которых позволяет выяснять особенности ее геологического развития на различных участках и уровнях.

Если у М. М. Тетяева понятие «возраст складчатости» связано только с геометрическими характеристиками структуры осадочной оболочки, то в схеме тектоники СССР А. Д. Архангельского и Н. С. Шатского 1933 г. вновь введенное понятие «возраст основной складчатости» уже тесно связано с вещественным (формационным) составом, поскольку поверхность основной складчатости соответствует поверхности (верхней границе) распространения геосинклинальных формаций, обладающих определенными вещественными и структурными характеристиками, отличающими их от формаций чехлов. На некоторых ранее изданных тектонических картах СССР, а еще в большей степени на Международной тектонической карте Европы 1964 г. и Тектонической карте Евразии 1966 г. при выделении структурных

элементов роль структурно-вещественных признаков становится все более и более доминирующей.

К тектоническим картам, основанным на динамических характеристиках, следует отнести карты современных движений земной коры — вековых, сейсмогенных, вулканогенных, техногенных и т. д. Такие карты являются, как правило, векторными и отражают распределения значений скоростей движений и их направления. Если изображается только вертикальная компонента движения, то на карте проекции векторов имеют вид точек, а длина векторов (скорости) и их знак обозначены цифрой (например, $+0,4$ мм/год, $-1,1$ мм/год). На основании распределения по площади значений интенсивности и знака тектонических движений могут быть проведены изолинии, разделяющие области с различными значениями интенсивности и с различным знаком движений, т. е. условные геологические тела первого типа с определенными динамическими характеристиками. Разделение картируемого пространства на условные тела представляет построение полноопределенного пространства (модели). Эта процедура относится к описанию пространства. Ее можно рассматривать как вид тектонического районирования, поскольку каждое условное тело представляет собой район, отличающийся по значениям картируемых свойств от смежных районов. Вместе с тем здесь не может идти речь о выделении структурных элементов, обладающих всегда резкостными границами, полностью определяемыми распределением свойств вещества в пространстве.

Если на карте находит отражение не только вертикальная, но и горизонтальная составляющая скорости движения (или величина перемещения за некоторый постоянный для всей карты интервал времени), то возможности тектонического районирования весьма расширяются. Изолинии можно проводить или по величине вертикальной компоненты, скорости и знаку, или по величине горизонтальной компоненты, или даже по величинам долготной и широтной компонент. Районирование можно проводить также по направлению горизонтальной компоненты, выделив районы, характеризующиеся различными румбами. Во всех этих случаях структурные элементы не выделяются; сравнительный же анализ выделяемых условных тел первого типа не имеет смысла, поскольку положение их границ может меняться в зависимости от применяемых процедур.

Тектоническое районирование (в рамках динамических систем) может проводиться по градиентам скоростей, т. е. быстроте изменения по латерали вертикальной компоненты тектонических движений [48]. Градиенты скоростей выражаются в $\frac{\text{см/сек}}{\text{см}}$ или в «обратных секундах» (сек^{-1}) или же «обратных годах» (год^{-1}). Величина градиента характеризует подвижность и расчлененность тектонических районов.

М. В. Гзовский [48] выделяет четыре типа областей «по качественным особенностям движений»:

I тип — равнины и плоскогорья платформ (градиент редко доходит до $3 \cdot 10^{-10}$ год⁻¹);

II тип — горы средней высоты (Урал, Бырранга) в пределах платформы и областей со слабой активизацией движений (не более $1 \cdot 10^{-9}$ год⁻¹);

III тип — высокие горы с разделяющими их впадинами в областях геосинклиналей, активизации, океанизации (Камчатка, до $1 \cdot 10^{-8}$ и более).

К картам, основанным на динамических характеристиках, относятся также карты, отражающие быстрые сейсмогенные тектонические явления (карты балльности, карты смещенных точек поверхности Земли в результате землетрясения).

К тектоническим картам, основанным на ретроспективных реконструкциях, относятся палеотектонические карты, которые важны для реконструкции процессов формирования осадочной оболочки и ее отдельных структурных элементов. При составлении палеотектонических карт снимаются не только все более поздние осадочные формации, но и все более поздние проявления магматизма и результаты дислокационных процессов. Сравнением палеотектонической карты с тектонической могут быть проиллюстрированы представления о сохранении или изменении границ структурных элементов, их объединении (слиянии) или раздроблении, существовании старых и появлении новых глубинных разломов, появлении новых осадочных и магматических формаций и т. д. Такое сравнение помогает реконструировать черты унаследованности тектонического развития. Если удастся провести палеотектоническое районирование для ряда последовательных моментов геологического времени, то сравнение серии тектонических карт позволяет составить более детальное представление о тектоническом развитии.

Большой интерес представляет тектоническое районирование, проводимое на палинспастической топооснове [27, 192]. Палинспастические карты воссоздают взаимное расположение на некотором хронологическом уровне геологических тел, претерпевших впоследствии значительное горизонтальное смещение. Такого рода построения особенно эффективны для областей сдвиговой тектоники и чешуйчатого строения. Методика построений разработана еще недостаточно. Построения эти в значительной мере зависят от общей теоретической позиции исследователя и в очень большой степени несут на себе отпечаток субъективизма. Однако в принципе сопоставление палинспастических карт для разных хронологических уровней открывает новые возможности палеотектонических реконструкций.

Серии палеотектонических карт можно рассматривать как ретроспективные модели, иллюстрирующие тектоническое развитие той или иной части осадочной оболочки или того или иного ее структурного элемента. Рассматривая такие модели, можно в частности, высказать предположение о миграции, разрастании или вырождении геосинклиналей, раздроблении платформ и т. д. Все представления об изменяющихся во времени структурных элементах (мигри-

рующих, разрастающихся или распадающихся) являются ретроспективными конструктами и производными от базисных моделей статического геологического пространства осадочной оболочки и ее структурных элементов, представляющих собой ассоциации геологических формаций.

Особенности выделения структурных элементов осадочной оболочки Земли по структурно-вещественным признакам

Имея в виду, что выделение структурных элементов по структурно-вещественным признакам сводится к определению границ комплексов (рядов, групп) геологических формаций и в конечном счете границ самих формаций, рассмотрим вопрос о выделении структурных элементов осадочной оболочки. При тектоническом районировании приходится наносить на карту не площади выходов (сечений) слоев и массивов, как при составлении геологических карт, а проекции сложно построенных трехмерных тел. При этом возникают затруднения, так как:

1) формации представляют собой сложные вещественные ассоциации, типы которых (формационные типы) определяются значительно менее точно, чем тела, сложенные какой-либо одной горной породой. В определении формаций признаки формации обычно количественно не определены, что может вызвать очень большие расхождения в поведении границ формаций в зависимости от того, какое значение будет придаваться признакам, указанным в определениях лишь в качественном смысле. Несомненно, если бы в определении формаций были бы включены количественные пределы этих величин, неточность в проведении границ могла бы быть значительно меньше. Но дело здесь не только в точности определений, а еще и в том, что определения формаций часто включают ряд признаков (например, мощность, характер ритмичности, содержание обломков и т. д.) и по каждому из этих признаков, даже если они количественно будут точно определены, границы могут быть проведены различно, т. е. контуры формаций, проведенные по каждому из этих признаков, могут не совпадать. В таком случае под «границей формации» следует понимать линию (поверхность), которой исследователь произвольно обобщает контуры, проведенные по разным признакам («произвольно» в том смысле, что для проведения обобщающей границы не существует строгого правила и исследователь может при этом руководствоваться различными соображениями);

2) тектонические районы (геосинклинальные области, платформы, структурные этажи и т. д.) соответствуют не единичным формациям, а их комплексам (надформациям, ряды и т. д.), выделение и разграничивание типов которых связано с еще большими трудностями, чем выделение формаций. По высказанному выше соображениям границы

между формационными комплексами не всегда могут проводиться однозначно;

3) отдельные члены вертикального ряда формаций могут иметь различные и смещенные в горизонтальной проекции контуры, что может свидетельствовать об изменениях (сужении, расширении, миграции) площади проявления тектонических режимов, с которыми было связано образование формаций данного ряда. В таком случае границы тектонического района по различным возрастным или горизонтальным срезам будут иметь несовпадающие контуры, которые при площадном тектоническом районировании могут быть обобщены лишь субъективно.

Следовательно, из-за отсутствия точных (количественных) определений типов формаций, множественности признаков их выделения и несовпадения контуров, проведение границ между крупными структурными элементами осадочной оболочки в известной мере зависит от подхода исследователя. Однако обычно границы крупных структурных элементов осадочной оболочки проводятся однозначно и объективно. Это оказывается возможным при наличии ограничивающих глубинных разломов, обозначающих в ряде случаев единую резкостную границу формации, даже если она выделяется по многим признакам, или формационного ряда (несмотря на то, что контуры входящих в него формаций вообще различны и совпадают только вдоль зоны разломов). Сказанным определяется особое значение глубинных разломов при тектоническом районировании.

Использование глубинных разломов при проведении границ крупных структурных элементов осадочной оболочки представляет такие несомненные преимущества, что вполне понятна распространившаяся в течение последних десятилетий тенденция выделения глубинных разломов по явно недостаточным признакам и приписывания этим предполагаемым разломам роли ограничений структурных элементов. Отсюда часто следует признание универсальности блокового строения осадочной оболочки. Однако далеко не все глубинные разломы могут рассматриваться как ограничения ее структурных элементов и далеко не все структурные элементы ограничены глубинными разломами по всему периметру. Поэтому использование глубинных разломов при тектоническом районировании еще не снимает постановки вопроса, связанного с проведением границ при отсутствии разломов. Выше была подчеркнута возможная неоднозначность в проведении таких границ при современном состоянии формационного метода. Можно даже высказать такую мысль, что границы структурных элементов осадочной оболочки при отсутствии глубинных разломов, определяющих такие границы, следует проводить по соглашению исследователей, как это делается на стратиграфических совещаниях при определении границ между стратиграфическими подразделениями (системами, отделами и т. д.). Конечно, такое положение и в стратиграфии и в тектонике далеко до идеала. Однако оно носит, несомненно, временный характер. Его неизбеж-

ность и целесообразность объясняются необходимостью существования для всех обязательных хотя бы временных научных критериев (законов), обеспечивающих единство в исследованиях. Для устранения недостатков при проведении границ структурных элементов осадочной оболочки, как это следует из сказанного ранее, необходима, во-первых, разработка количественных критериев выделения геологических формаций и комплексов формаций, во-вторых, устранение множественности признаков выделения формаций, в-третьих, разработка методики объемного тектонического районирования и методики изображения объемных структурных элементов. Намеченными тремя пунктами, вероятно, далеко не исчерпывается перечень весьма трудоемких задач, которые необходимо решить для проведения объективного и однозначного тектонического районирования. Несомненно, однако, что речь идет о весьма длительном исследовательском процессе, связанном с разработкой новых методик, в частности с применением математических методов на основе формализации геологических понятий.

Следует остановиться на месте дизъюнктивных границ в системе тектонического районирования и их классификации в легендах тектонических карт. Поскольку тектонические карты, построенные по структурно-вещественным признакам, представляют собой модели статических систем, дизъюнктивные границы на них должны определяться чисто структурно, по пространственным соотношениям их со структурными элементами, а не по генетическим или возрастным характеристикам. Естественно выделить в качестве основных и наиболее значительных разломы, ограничивающие структурные элементы первого ранга (разломы первого ранга), ограничивающие элементы второго ранга (разломы второго ранга) и т. д. Разломы, не выходящие за пределы структурного элемента и не влияющие на его границы, можно именовать прочими разломами.

Структурные элементы при тектоническом районировании могут изображаться как двумерные или трехмерные тела. На наиболее ранних тектонических картах — схемах структурные элементы выступают как двумерные тела. Так, на схеме тектоники СССР А. Д. Архангельского и Н. С. Шатского 1933 г. [4] структурные элементы представлены областями складчатости различного возраста (докембрийского, каледонского, герцинского, мезозойского и альпийского); на схеме отображены границы элементов, их размеры и формы в плане. Вертикальные размеры структурных элементов (глубина распространения изображаемых складчатых комплексов) на схеме никак не отражены, что вполне понятно, поскольку во время составления карты отсутствовали какие-либо данные о распространении складчатости на глубину. Если изображенные на схеме структурные элементы — области разновозрастной складчатости — представить себе как трехмерные тела, то это будут произвольные тела, так как нижнюю границу структурных элементов в этом случае можно определить только произвольно. Произвольные же тела сравнительному анализу не подлежат. В плане же (двумерном пространстве)

структурные элементы схемы выступают как резкостные тела, которые можно сравнивать по размерам, форме, взаимоотношениям, составу и внутренней структуре и проводить их сравнительный анализ.

Двумерный характер старых схем связан как с неизученностью больших глубин, так и с господствующей в то время гипотезой о разрастании платформ, постепенной консолидации сиала, изживании геосинклинального режима и т. д.

Представление о разрастании платформ было высказано в 1924 г. А. А. Борисяком [25] и Г. Шгилле [183]. В свое время это был важный шаг в развитии геологической науки. Концепция о разрастании платформ устанавливала определенное направление в поступательном ходе развития структуры континентальной части осадочной оболочки, тогда как, согласно весьма распространенным в то время представлениям Вегенера, Штауба, Аргана и др., истории геологического развития уделялась второстепенная, подчиненная роль. А. А. Борисяк считал, что в альпийский цикл складчатости геосинклинали полностью отмерли и осадочная оболочка вступила в новый этап развития, качественно отличный от предыдущего. Он полагал, что «... стадия развития Земли, которая характеризовалась проявлением геосинклиналей, миновала, совершенно так же, как раньше нее, в докембрийское (т. е. доисторическое) время была стадия, когда не было щитов и пластических областей и вся толща континентального слоя собиралась в складки. Потом дифференцировались щиты, и складчатость сосредоточивалась лишь в промежуточных пластических областях, притом всегда в одних и тех же поясах: раз ставшая прочной, платформа не проявляла больше пластических прогибов» [25, стр. 9—10].

В СССР представления о разрастании платформ развивались А. Д. Архангельским, который писал, что «после складчатости и поднятий, происходящих внутри геосинклинальных областей, последние в значительной мере утрачивают свою подвижность и переходят в платформенную фазу развития. Эти новые платформенные участки присоединяются, припаиваются к более древним платформам и спаивают две или несколько из них в более обширные платформенные сооружения» [3, стр. 347].

Идея разрастания платформ развивалась также Н. М. Страховым [151, стр. 157, ч. I], который, называя геосинклинальные площади пластическими областями, а платформы жесткими зонами, указывал, что «... все содержание тектонической эволюции современных материков может быть выражено как последовательный переход сиала от пластического состояния к состоянию жесткому или как разрастание жестких площадей сиала за счет пластических». Основным фактором перехода в жесткое состояние Н. М. Страхов считает складкообразование, сопровождающееся уплотнением и перекристаллизацией пород, а также внедрением магм. В противоположность А. А. Борисяку Н. М. Страхов держится той точки зрения, что геосинклинальные области, хотя и сузились очень резко,

все же еще уцелели. Возможными современными аналогами ископаемых геосинклиналей он считает территории Средиземного и Черного морей, область Малайского архипелага, островные моря — Охотское, Японское, Китайское и область Антильских островов. Платформы, по Н. М. Страхову, представляют суммарный итог последовательной консолидации геосинклинальных зон.

В наиболее законченном виде рассматриваемая концепция была сформулирована в 1939 г. Н. С. Шатским [179], который, указывая, что направленность развития осадочной оболочки выражается в увеличении площади платформ, выделил платформенную фазу развития (от кембрия или протерозоя) и предшествовавшую ей геосинклинальную фазу с первыми зачатками платформ, качественно отличных от позднейших. Та же в сущности мысль позднее повторена В. В. Белоусовым, который, признавая разрастание платформ как общую тенденцию развития структуры осадочной оболочки, выделил геосинклинальную стадию и переходную стадию, «... для которой характерно одновременное существование геосинклиналей и платформ при последовательном уменьшении первых за счет вторых» [13, стр. 11].

Н. С. Шатский [179, стр. 606] писал, что «в истории земной коры хорошо распознаются только окончания развития тех или иных геосинклинальных систем, хорошо выделяется, как принято говорить, «замыкание геосинклиналей», т. е. превращение их в платформы. Нигде до сих пор не выделены начальные стадии геосинклинального развития; мы не знаем, развитие каких структур привело к образованию геосинклинальных областей». И далее: «Мы можем определить, что данная геосинклинальная система или область замкнулась в каледонский период, в герцинский или мезозойский и т. д., но выяснить, когда началось их развитие, до сих пор не удалось».

Со своей стороны подчеркнем, что невыясненность начала геосинклинального развития, объясняющаяся неизученностью нижних структурных ярусов геосинклинальных областей, часто принималась как доказательство того, что геосинклинали не имеют начала своего развития во времени, что на их месте никогда не было платформ и что они являются унаследованными от древнего пластического состояния. Отметим, что подобная предпосылка, имеющая кардинальное значение в разработке представления о разрастании платформ и, следовательно, о направлении развития структуры Земли, является спорной и многие геологические факты ей противоречат.

В частности, для ряда районов устанавливается, что геосинклинальные прогибы могут представлять собой новообразования, в которых мощные геосинклинальные формации располагаются на платформенных образованиях. Это хорошо прослеживается на примере ряда краевых прогибов, которые можно рассматривать как части геосинклинальных систем, а также на примере эпикратонных геосинклинальных систем. Очевидно, что с позиций гипотезы раз-

растания платформ поиски нижних границ областей складчатости не имеют смысла.

В последние два десятилетия намечается переход к объемному районированию с выделением трехмерных тел. Так, на одной из изданных ранее тектонических карт СССР в виде трехмерного тела показан чехол Русской платформы, выделенный на карте как структурный элемент второго ранга. Обозначены не только контуры чехла, но и его нижняя граница, показанная в изогипсах глубины залегания поверхности фундамента. Таким образом, по карте может быть вычислен объем чехла. Иначе дело обстояло с фундаментом Сибирской платформы, нижняя граница которого не была установлена и который, следовательно, было удобнее рассматривать как двумерное тело, показанное только своими контурами в плане. На другой тектонической карте СССР трехмерные тела выделены также в складчатых областях. Это — структурные этажи — средний и верхний, которые на карте показаны лишь контурами, но которым могут быть приписаны вполне определенные мощности (по данным, приводимым в объяснительных записках или в специальной литературе по той или иной складчатой области). Нижние структурные этажи или комплексы основания складчатых областей не могут быть определены как трехмерные резкостные тела, поскольку нижние границы их не установлены.

На упомянутых тектонических картах выделение трехмерных резкостных тел дано в неявном виде. Представления о таких телах как бы «извлекаются» при анализе карты. В 1964 г. был проведен опыт специального объемного тектонического районирования территории Сибири и Дальнего Востока [89]; были выделены покровные (чехлы) и складчатые комплексы, образующие в совокупности линзообразно-чешуйчатую структуру верхней части осадочной оболочки. Однако и при таком районировании архейские ядра фундаментов платформ и комплексов основания геосинклинальных складчатых областей могли быть охарактеризованы только своим площадным распространением.

По мере того, как изучалось строение все более и более глубоких недр Земли, возрастала толщина наружного слоя осадочной оболочки, который может быть представлен в виде трехмерных тел. Если «плоское» тектоническое районирование, нашедшее отражение на схеме тектоники СССР 1933 г., хорошо увязывалось с представлением о разрастании платформ и изживании геосинклиналей, то сложные соотношения трехмерных структурных элементов — платформенных чехлов, орогенных и складчатых комплексов — не могут уже быть так просто объяснены. Вырисовывается сложная картина разламывания фундаментов, заложения новых геосинклинальных систем, секущих простирания более древних складчатых толщ, и т. д.

Типы структурных элементов осадочной оболочки

В качестве структурных элементов осадочной оболочки при тектоническом районировании выступают структурные этажи, структурно-вещественные комплексы, а также геосинклинальные и платформенные области с их подразделениями.

В основе тектонического районирования лежит выделение геологических формаций, играющих роль элементарных «кирпичиков», из которых формируются (или конструируются) структурные элементы осадочной оболочки. Сами формации (осадочные и осадочно-вулканогенные) также могут играть роль структурных элементов при детальном тектоническом картировании; в этом случае они часто фигурируют под названием структурно-формационных зон (менее правильно их именовать структурно-фациальными зонами, если принимать определение понятия фации, которое будет сформулировано ниже).

Геологические формации (осадочные и осадочно-вулканогенные) являются наиболее крупными геологическими телами, структуры которых обладают свойством периодичности, что позволяет выделять формации по структурно-вещественным признакам, подобно тому как выделяются горные породы (породные тела) по минералогическому составу и петрографической структуре. Более крупные структурные элементы, состоящие из формаций, не обладают свойством периодичности. Поэтому, если формации могут быть выделены объективно при условии достаточно четкого определения «ритма» или «периода», то более крупные элементы конструируются из формаций и выделение их в значительной степени может быть связано с принятой процедурой. Если формация может рассматриваться в качестве простого или сложного резкостного тела, то более крупные структурные элементы представляют собою скорее составные тела. Поясним примерами. Платформенные и геосинклинальные области рассматриваются в качестве структурных элементов осадочной оболочки Земли (во всяком случае в пределах ее континентального блока), однако объем этих структурных элементов может быть различным в зависимости от того, причленяются ли краевые прогибы, а также некоторые внутренние прогибы типа Донбасса, Вичиты, Лено-Енисейского прогиба и т. д. к платформам или геосинклинальным областям. Объем геосинклинали как структурного элемента будет зависеть от того, включены в его состав или не включены «орогенные формации», комплексы основания и т. д.

Геологические формации (осадочные и осадочно-вулканогенные). Начало понимания геологических формаций как типа геологических тел «крупнее, чем слагающие их горные породы, и мельче, чем образующаяся из формаций земная кора и ее вертикальные (этажные) и горизонтальные (региональные) подразделения», положено Ф. Ю. Левинсон-Лессингом [99, стр. 8]. «Организация» таких тел встречает значительные трудности, поскольку они только в отдельных случаях могут быть сложены одной горной

породой (или группой очень близких пород), в большинстве же случаев они включают множество различных, но как-то ассоциирующихся друг с другом горных пород. Без естественного ассоциирования выделение крупных разнопородных тел, таких, какие могли бы быть использованы в целях тектонического районирования осадочной оболочки, вообще не было бы возможным.

Не сами горные породы, а их вещественные ассоциации служат основой для выделения крупных тел. Если для горных пород мы располагаем детальными, хотя пока и очень несовершенными классификациями, то выделение ассоциаций горных пород еще далеко не упорядочено. Формация, как подчеркивал Н. С. Шатский [179], представляет собой именно естественную ассоциацию, а не произвольный набор пород.

В разделе, посвященном геологическим структурам, были намечены критерии определения формаций и их выделения по свойству периодичности. Этот критерий пока совершенно не разработан. Представляется, что для эффективного его использования следует в определение формаций вводить точную характеристику свойственного ей «ритма» с указанием пределов изменения размеров, формы и последовательности слагающих его тел и их петрографического состава. Тогда, прослеживая распространение таких количественно охарактеризованных «ритмов», можно определить границы формаций. Хотя формация представляет собой естественную ассоциацию, выделение ее является вместе с тем и целевым. Формации, выделяемые при тектоническом районировании, должны представлять собой такие структурные элементы, которые в пределах картируемого пространства не перекрывали бы друг друга и не оставляли бы пустых мест. Эти требования необязательны при выделении формаций в иных целях (например, фосфоритоносные и марганценозные формации Н. С. Шатского).

Отметим, что формация понимается нами как геологическое тело в статическом пространстве. Только в таком смысле понятие «формация» отвечает требованиям тектонического районирования. Следует иметь в виду, что часто термин «формация» употребляется в других смыслах, причем понятие, обозначаемое этим термином, принимает историко-геологическое (этапы, стадии) или генетическое (климат и т. д.) значение. По историко-геологическим и генетическим характеристикам нельзя выделять формационные тела в статическом пространстве. Эти характеристики являются производными и могут быть построены для тел, выделенных по структурно-вещественным признакам на основе анализа их вещественного состава, главным образом петрографических и биостратиграфических характеристик, и пространственных соотношений с другими формационными телами.

Выделить формацию — это значит определить ее границы. Если речь идет об абстрактных формациях, то границы между ними могут быть проведены лишь как границы между типами в классификационных схемах или хотя бы при сравнительном сопоставлении. Такая граница будет, например, отделять тип молассовых фор-

маций от типа флишевых формаций. Эта граница пройдет как бы между признаками данных формаций, т. е. она будет проведена «в пространстве признаков». Значения признаков должны быть определены количественно, например в процентах содержания какого-либо (или каких-либо) компонентов формаций, в присутствии или отсутствии этих компонентов: да — нет, в количественно выраженных структурных характеристиках; значения признаков должны быть измерены определенным способом с определенной точностью, причем должно быть известно, в каких пределах эти значения могут изменяться. Если все эти условия будут соблюдены, мы получим возможность отличать один тип формаций от другого. Выделенные формации могут быть сгруппированы для удобства их дальнейшего изучения и сравнения по принципу принадлежности их к этапам или стадиям развития или же к областям и зонам осадочной оболочки, например тектоническим (платформы, геосинклинали и т. д.), географическим (континенты, океаны), климатическим (аридные, гумидные), глубинным (абиссальные, гипабиссальные) и т. д.

Таковы аридные и гумидные формации Н. М. Страхова, геосинклинальные, платформенные и переходные формации Л. Б. Рухина, формации устойчивых областей и формации собственно геосинклинальных этапов развития подвижных зон Ю. А. Кузнецова, континентальные, лагунные и морские формации Д. В. Наливкина и т. д.

Группирование формаций не имеет прямого отношения к выделению формаций и может быть осуществлено лишь тогда, когда формации уже выделены.

Существуют попытки установления иерархии формационных тел. Так, выделяются надформации — парагенетические ассоциации пород, отдельные части которых (ассоциаций) могут рассматриваться как формации [175], собственно *формации, подформации* — ассоциации пород с признаками формаций, но являющиеся, однако, лишь частями формаций [175], *градации* — части формаций, представляющие собой самостоятельные парагенезы и отличающиеся от других формаций [174]; иногда градации по отношению к подформации рассматриваются как тела подчиненного ранга [58].

Переход от формации к подформации и от формации к надформации рассматривается соответственно как представление простого тела в качестве сложного (путем введения дополнительного делящего признака) и как представление простого тела в качестве элемента сложного тела более высокого ранга (путем исключения одного или нескольких признаков, по которым было выделено простое тело и которые могут служить для выделения тела более высокого ранга).

Большое значение при тектоническом районировании придается группированию формаций в ряды. *Ряды формаций* — это совокупности формаций, в основном охарактеризованные не общностью вещественного состава и структуры, а последовательностью расположения. По характерным разновидностям рядов формаций выделяют

такие структурные элементы осадочной оболочки, как геосинклинали, краевые прогибы, чехлы платформ и т. д.

Осадочные и осадочно-вулканогенные формации являются «наслоенными» и ими определяется слоистая структура осадочной оболочки Земли. Иное положение в структуре осадочной оболочки занимают магматические формации. Они обычно представлены отдельными магматическими телами (штоками, массивами, дайками, силлами и т. д.), «вписывающимися» в слоистую структуру, но не определяющими ее. На обзорных тектонических картах они выступают в виде включений. Изображение таких включений и их классификация (по формационным типам или химическому составу) относятся к описанию структурных элементов и является одной из важнейших их сравнительных характеристик.

При рассмотрении строения осадочной оболочки в качестве ее структурных элементов часто выступают *структурные этажи* или *структурные ярусы*. Эти названия, часто применявшиеся для обозначения толщ, разделенных поверхностями несогласий и отличающихся по своей внутренней структуре, сейчас все больше и больше применяются для обозначения крупных слоев осадочной оболочки, отличающихся друг от друга формационным составом, степенью метаморфизма, а также обычно интенсивностью и планом тектонических дислокаций. Основным для выделения структурных этажей (ярусов) следует считать не хроностратиграфическую принадлежность, а вещественный признак (формационный состав), способный более полно отражать этапы геологического развития, соответствующие их (ярусов) последовательности. Структурные этажи обычно отделяются друг от друга крупными региональными несогласиями. В разрезах платформенных областей нижний структурный этаж представляет складчатое основание или фундамент платформы, верхний — ее платформенный чехол. Различия между этими основными структурными этажами платформ существенны и выражаются, в частности, в значительно большей по сравнению с чехлом степени метаморфизованности и дислоцированности пород фундамента.

Устанавливается иерархия структурных этажей [21]. К высшему рангу относятся *мегакомплексы*, имеющие планетарное распространение (фундаменты и чехлы древних платформ, совокупность складчатых систем от байкальской до альпийской). Далее следуют *складчатые комплексы* (складчатые системы) — «самые важные и конкретные подразделения в структуре земной коры», например байкальский, каледонский и другие комплексы; они характеризуются площадью распространения, главнейшими простираниями, типом вергенций и отделяются от выше- и нижележащих комплексов поверхностями несогласий. Низшими таксономическими единицами этого ряда являются *собственно-структурные этажи* (например, молассы краевых прогибов), выделяемые в пределах складчатых систем, и *структурные подэтажи*, выделяемые в пределах структурно-формационных зон и обычно соответствующие одной формации (например, майкопская свита Кавказа, динантские известняки Бельгии).

На выделении структурных этажей основаны первые попытки объемного районирования осадочной оболочки. Так, М. В. Муратов [116] различает в геосинклинальных областях Евразии три главных структурных комплекса («как бы три этажа»): 1) комплекс основания, образованный в верхнедокембрийских и палеозойских складчатых областях только докембрием, а в Тихоокеанской области породами с возрастом от докембрия до раннего мела; 2) главный геосинклинальный комплекс, несогласно располагающийся на структурных элементах комплекса основания и имеющий различный (байкальский, каледонский и т. д.) возраст, и 3) молассовый комплекс, которым сложены межгорные депрессии и краевые прогибы.

Структурно-вещественные комплексы — это естественные геологические тела приблизительно второго-третьего порядка размеров, выделяемые в качестве структурных элементов осадочной оболочки по структурным и вещественным признакам, рассматриваемым как независимые. Выделение структурно-вещественных комплексов было применено при составлении Карты тектоники докембрия континентов масштаба 1 : 15 000 000 (1972 г.) [81]. Тектоническое районирование, основанное на структурно-вещественных комплексах, имеет некоторые преимущества по сравнению с тектоническим районированием, основанным на выделении платформенных и геосинклинальных областей и их подразделений. Преимущество это выражается в более тесной привязке к картируемым и измеряемым структурно-вещественным признакам. В случае выделения геосинклиналей и платформ необходимо иметь в виду, что этими терминами лишь кодируются определенные формационные ряды, т. е. структурно-вещественные ассоциации пород. Необходимо учитывать, что при этом на составителя тектонической карты может оказывать давление неоднозначность этих терминов, понимаемых в различных смыслах. Это может привести к недооценке одних и переоценке других признаков. Закрашивались же, например, на некоторых тектонических картах цветом байкальской складчатости (геосинклинальной) участки чехла Сибирской платформы, на которых типичные платформенные формации были смяты в складки промежуточного (по В. В. Белоусову) типа (зоны туруханских и непских складок).

При выделении структурно-вещественных комплексов под структурными признаками понимается степень дислоцированности слоев, под вещественными — состав пород, особенности строения разреза и отчасти геометрические характеристики тела в целом (форма, размеры и т. п.). Анализ существующих способов составления тектонических карт показывает, что эти признаки используются при любом тектоническом районировании, вне зависимости от принципов построения карт и концепций авторов. Структурные и вещественные признаки являются независимыми. Как справедливо отмечает Ж. Гогель [53, стр. 34], «между особенностями строения разрезов и характером . . . формаций . . . существует лишь отдаленная связь с многочисленными исключениями». Уже приводились примеры полого

залегающих геосинклинальных образований и складчатых толщ платформенного типа. Складчатые платформенные отложения показаны также на Международной тектонической карте Европы (1964 г.) и Тектонической карте Евразии (1966 г.).

По структурным признакам выделяются складчатые и нескладчатые комплексы. Для первых характерна складчатость полного и промежуточного типов, для вторых — прерывистого типа (по классификации В. В. Белоусова).

По вещественным признакам различаются платформенные и геосинклинальные комплексы. Для платформенных комплексов типичными являются формации кварцевых песчаников, глин, плитняковых известняков, доломитов и др. Песчаный и алевроитовый материал хорошо отсортирован, широко распространены глауконитовые породы, конгломераты почти всегда являются базальными. Из магматических пород значительно развита лишь трапповая формация, могут присутствовать щелочно-ультраосновные интрузии центрального типа, кимберлиты. Дополнительные признаки — малые мощности при небольших градиентах их изменения, наличие большого числа региональных перерывов, выдержанность состава на площади, преобладание мелководных отложений, распространение континентальных толщ.

Все неплатформенные комплексы рассматриваются как геосинклинальные. Для геосинклинальных комплексов характерны аспидная, молассовая, яшмовая, джеспилитовая, граувакковая, осадочные формации, формации рифовых и пелитоморфных известняков и др., а также широкая гамма магматических пород спилито-кератофировой, офиолитовой формаций и т. д. В качестве дополнительных признаков указываются: большие мощности при значительных градиентах их изменения, отсутствие региональных перерывов, резкая фаціальная изменчивость, преобладание морских осадков.

По составу толщ выделяется ряд подтипов платформенных и геосинклинальных комплексов (табл. 5).

Геосинклинальные и платформенные области. Подразделение осадочной оболочки на геосинклинальные и платформенные области очень удобно использовать при тектоническом районировании по геометрическим признакам, когда под геосинклинальными областями подразумеваются области прогибания больших мощностей и интенсивной складчатости, а под платформами — области пологого залегания осадочных толщ. Причем принимается во внимание только залегание слоев, выступающих на поверхность Земли. Это отвечает первоначальному смыслу этих терминов: Если бы вещественные признаки находились со структурными признаками во взаимосогласном соответствии, то деление осадочной оболочки на геосинклинальные и платформы оставалось бы вполне удобным и при районировании по структурно-вещественным признакам. Однако, поскольку геометрические (структурные) и вещественные (формационные) признаки независимы, очень трудно с понятиями геосинклиналей и платформ точно согласовать тела (структурные эле-

Типы структурно-вещественных комплексов докембрия

Структурная характеристика	Вещественная характеристика						
	Платформенные				Геосинклинальные		
	терригенно-карбонатные	терригенные	осадочно-вулканогенные		осадочные		
			с основными эффузивами	с кислыми эффузивами	терригенные	карбонатно-терригенные	карбонатные
Нескладчатые	Рифей Сибирской платформы, средний докембрий плиты Стэрт (Северная Австралия), серия Бамбуи (Бразилия)	Венд Русской платформы, формация Рорайма (Гвианский щит), группа Ропер (Северная Австралия)	Надгруппа Маунт-Брусс (Западная Австралия), системы Доминион-Риф, Витватерсранд, Вентерсдорп и Трансвааль (Южная Африка), серия Коппермайн Б. Медвежьего озера (Канада)	Улканская и уянская серии (Восточная Сибирь), серия Дубонт провинции Киватин (Канада)	Группа Хэбгуд и хр. Парсон (Северная Австралия)	Карагасско-оселковский комплекс (Восточная Сибирь)	Серия Шейлер о-ва Виктория (Канада)
Складчатые	Инфракембрий (Иран), Катангий Катангской складчатой зоны (Экваториальная Африка)	Формации Гангу и Лики-Бембе (Северное Конго), верхний докембрий Кызылкумов	Дарварская система (Индия), муйская серия (Восточная Сибирь), комплекс Пастора-Каричапо (Венесуэла), серия Докхан (Саудовская Аравия)	Акитканская серия (Восточная Сибирь), формации Мурува и Ивокрама (Гайана), серия Коннектинг-Поинт (Ньюфаундленд)	Серия Калонга (Экваториальная Африка), серия Белт Северо-американских Кордильер, удоканская серия (Восточная Сибирь), серия Минас (Бразилия)	Система Аделаида (Южная Австралия), рифей Башкирского антиклинория (Урал), система Дамара (Юго-Западная Африка)	Енисейская свита (Алтай-Саянская область)

менты), выделяемые по структурно-вещественным (формационным) признакам.

Затруднения возникают также при увеличении «глубинности» тектонического картирования, когда начинает фигурировать несколько структурных этажей, а платформенные и геосинклинальные комплексы перекрывают друг друга. Это можно наглядно пояснить на примере молодых платформ. Мезозойско-кайнозойские чехлы Западно-Сибирской и Туранской плит представляют собой единые структурные элементы осадочной оболочки, выделенные по структурно-вещественным признакам. Однако эти чехлы перекрывают не только области каледонской и герцинской (отчасти местами и позднедокембрийской) складчатостей, трактуемые как фундаменты молодых платформ, но и значительные участки докембрийской, в частности архейской, складчатости, рассматриваемые как фундаменты древних платформ (Ленско-Енисейский прогиб и Вилюйская синеклиза Сибирской платформы, Прикаспийская синеклиза Русской платформы и т. д.). Иными словами, при выделении древних и молодых платформ в качестве структурных элементов осадочной оболочки единые структурные элементы — чехлы пересекаются границами этих структурных элементов «по живому месту», чем явно нарушаются правила районирования по структурно-вещественным признакам. При платформенно-геосинклинальном районировании недоразумения возникают также при определении принадлежности участков, сложенных платформенными формациями, но осложненных линейной складчатостью, а также районов, занимающих промежуточное положение между типичными платформами и геосинклиналями (краевые прогибы, краевые системы) или принадлежащих к промежуточному типу (полу-платформы — эпикратонные геосинклинальные области).

Из сказанного следует, что выделение геосинклинальных и платформенных областей или их подразделений в качестве структурных элементов осадочной оболочки связано с рядом существенных затруднений. Представляется более правильным при районировании вначале выделять в качестве структурных элементов структурно-вещественные комплексы, а затем — группировать выделенные структурные элементы в более крупные тела, которым в зависимости от их структуры и состава, а также в соответствии с традиционными требованиями могут быть присвоены наименования платформ, геосинклиналей и т. д. Однако, если первая процедура представляет собой элементаризацию пространства, т. е. такое его разделение, при котором нет перекрытия одного структурного элемента другим и нет пустых мест, то вторая заключается в выделении таких тел, которые не обязательно заполняют все геологическое пространство и могут перекрывать друг друга.

В настоящее время традиционным является платформенно-геосинклинальное районирование, положенное в основу крупных и наиболее известных тектонических карт. При таком районировании обычно учитываются структурные и вещественные признаки и выделяются структурные элементы различных типов и рангов. Выше отме-

чалось, что такой признак, как возраст складчатости, лишь кодирует структуру и состав картируемых объектов. Хотя при отнесении структурных элементов к тому или иному типу и проведении их границ возникают обычно разногласия, тем не менее существуют довольно устойчивые представления о типах элементов, выделяемых при платформенно-геосинклинальном картировании.

К наиболее крупному рангу структурных элементов осадочной оболочки, обладающих геосинклинальным строением, относится *геосинклинальный пояс*, или *геосинклинальный складчатый пояс* [117]. Геосинклинальный пояс определяется как крупный участок осадочной оболочки, ограниченный только древними платформами, в состав которого входят молодые и древние складчатые сооружения. В качестве примера складчатого пояса В. Е. Хаин и Ю. М. Шейнманн приводят совокупность каледонид, герцинид и альпид Европы, Северной Африки и Передней Азии. М. В. Муратов на континентах Евразии насчитывает четыре геосинклинальных складчатых пояса: Средиземноморский, Урало-Монгольский (включающий Западно-Сибирскую и Туранскую молодые платформы), Тихоокеанский и Атлантический (включая каледониды Норвегии). Определенные таким образом геосинклинальные пояса принадлежат к первому порядку по площади.

А. Д. Архангельский и др. [5] структурные элементы этого ранга именовали *геосинклинальными областями*. Они писали об огромной Срединной геосинклинальной области Евразии, которая тянулась в широтном направлении в средней полосе современного Азиатского материка и на западе переходила в аналогичные области Западной Европы, а на востоке сливалась с геосинклинальными пространствами Дальнего Востока. Ими выделялись также Урало-Сибирская геосинклинальная область между Русской и Сибирской древними платформами, геосинклинальная область Северо-Востока Азии; вместе с тем они говорили о Монголо-Охотской, Верхояно-Колымской, Уральской геосинклинальных областях и Монголо-Охотском геосинклинальном поясе. Таким образом, понятие геосинклинальной области в этом представлении охватывало достаточно широкую градацию геосинклинальных структурных элементов по их размерам, а термин «геосинклинальный пояс» применялся в чисто морфологическом смысле и обозначал линейное расположение структурных форм. Подобно этому и М. М. Тетяев объединял под названием геосинклинального пояса изолированные геосинклинали, возникающие более или менее по простираанию друг друга и разделенные формами типа синеклиз; в качестве примера он приводил сочетание Южного Крыма, Северного Кавказа и Копетдага.

Введение понятия «геосинклинальный пояс» как высшей таксономической единицы представляет собой определенный шаг по упорядочению рангов геосинклинальных структурных элементов. Соотношения между геосинклинальными поясами и геосинклинальными областями как структурными элементами разных рангов можно пояснить таким примером: Тихоокеанский геосинклинальный пояс включает

Верхояно-Чукотскую геосинклинальную область. Однако вообще для разделения геосинклинального пояса на геосинклинальные области четкие рецепты отсутствуют. По-видимому, важным критерием для выделения геосинклинальных областей должен служить так называемый возраст складчатости, выражающий этажность строения и формационный состав структурных этажей, т. е. определенную структурно-вещественную характеристику области.

Геосинклинальные области в свою очередь могут быть подразделены на структурные элементы следующего ранга. А. Д. Архангельским [5] такая возможность была намечена лишь в самом общем виде; было указано на существование «средних масс», подразделяющих геосинклинальную область на «ветви», геологическое развитие которых может быть независимым и различным. Н. С. Шатским позднее была уточнена основа расчленения геосинклинальных областей. Им было установлено, что в состав геосинклинальных областей входят геосинклинальные системы (состоящие из геосинклиналей и геоантиклиналей) и внутренние геосинклинальные массивы.

Геосинклинальными системами Н. С. Шатский предложил называть «комплексы таких геосинклиналей и геоантиклиналей, развитие которых приводит к образованию определенных складчатых систем (Урал, Аппалачи, Главный Кавказ с окраинными прогибами и др.); геосинклинали и геоантиклинали таких систем тесно связаны друг с другом единым направлением их развития, единой эпохой «замыкания» и часто общими чертами последующего платформенного развития» [179, стр. 605].

Геосинклинальные системы и области после складчатости иногда именуется соответственно складчатыми системами и складчатыми областями [22].

Срединные массивы (средние массы) наряду с геосинклинальными системами выделяются как структурные элементы геосинклинальных областей. В работе А. Д. Архангельского и др. [5] указывается на существование двух типов срединных массивов. Во-первых, это «возникшие в средних частях геосинклинальных областей приподнятые складчатые массивы», которые «при продолжении складчатости испытывают значительно меньшие деформации, нежели периферические участки геосинклинальных областей»; во-вторых, «это участки древних платформенных сооружений, сохранившихся между геосинклинальными прогибами с момента образования последних» [5, стр. 287]. Впоследствии эти два типа массивов были названы соответственно *массивами ранней консолидации* и *остаточными срединными массивами* [87]. Примерно такое же разделение срединных массивов было принято В. Е. Ханним [171], различавшим массивы первого рода (обломки досинийских платформ, например Таримский), второго рода (обломки зон консолидации, предшествовавших данному циклу, например массив западной части Центрального Казахстана) и третьего рода (зоны ранней консолидации данного цикла).

Однако в последние годы появляется тенденция к ограничению содержания понятия «срединный массив». Под этим названием все

чаще понимают только остаточные массивы, подобные небольшим платформам [61, 188].

В качестве примера приведем вещественную характеристику чехла Колымо-Омолонского массива, являющегося общепризнанным типичным представителем срединного массива [23]. Мощность чехла колеблется в широких пределах, местами достигая 5—6 км, объем чехла ориентировочно 700 000 км³. Особенность формационного состава чехла определяется положением массива между длительно развивавшимися геосинклинальными системами, его небольшими размерами и связанной с этим подвижностью и интенсивной раздробленностью его архейско-протерозойского цоколя. Характерно широкое развитие вулканогенных формаций, преимущественно липаритацитового и андезитового состава, которые местами слагают почти всю толщу чехла. В состав чехла входят толщи кварцитов, сланцев, аргиллитов, известняков, аркозовых и пестроцветных песчаников, угленосных отложений; местами появляются конгломераты. Чехол непосредственно связан с геосинклинальными складчатыми комплексами, в которые он переходит в латеральных направлениях, резко увеличиваясь в мощности.

Для сравнения приведем вещественную характеристику чехла Таримского массива [125]. Мощность чехла здесь достигает 9 км. Характерно широкое развитие лав основного и кислого состава. В состав чехла входят толщи кварцитов, сланцев, аргиллитов, известняков, доломитов, аркозовых и красноцветных песчаников, угленосных и соленосных отложений, имеются конгломераты.

Если геосинклинальные области (пояса) и древние платформы относить к первому рангу структурных элементов континентального блока осадочной оболочки, то геосинклинальные системы и срединные массивы принадлежат ко второму рангу. Геосинклинальные системы содержат в качестве структурных элементов третьего ранга геосинклинали и геоантиклинали. Геосинклинали представляют собой относительно опущенные, а геоантиклинали — относительно поднятые блоки в сложной мозаике глыб геосинклинальной системы или области, представленные существенно различными рядами формаций. Наиболее полные определения геосинклиналей и геоантиклиналей были сформулированы Н. С. Шатским.

Под геосинклиналями Н. С. Шатский [179, стр. 604] понимал «простые синклиналеобразные формы, обладающие длительным прогибанием, в результате которого образуются очень мощные призмы осадочных и магматических пород». Геосинклиналям, по Н. С. Шатскому, свойственны определенные типичные формации, в частности зеленокаменная, джеспилитовая и яшмовая, глинисто-сланцевая, флишевая, молассовая. Геосинклинали могут иметь форму узких длинных желобов или же обладать изометрической, угловатой или овальной формой (например, позднепалеозойский геосинклинальный прогиб между Балхашем и Чингизтау).

Геоантиклинали, по Н. С. Шатскому, представляют собой положительные аналоги геосинклиналей линейной или изометрической

формы. «Самым существенным отличием геосинклиналей от соседних геосинклиналей является то, что формации, которыми сложены эти положительные структуры, чрезвычайно резко отличаются от формаций сопряженных с ними геосинклиналей» [179, стр. 605]. В разрезах геосинклиналей наблюдаются большие мощности и слабое развитие перерывов, в разрезах же геосинклиналей — малые мощности, частые перерывы и несогласия. Специфичны формации геосинклиналей: характерны карбонатные и эффузивные толщи.

Следует оговориться, что Н. С. Шатским рассматривались частные случаи; в действительности, формационные различия геосинклиналей и геосинклиналей часто носят не абсолютный, а относительный характер. Так, например, некоторым геосинклиналям свойственны карбонатные формации (известняковые и карбонатные геосинклинали М. В. Муратова), а смежным геосинклиналям — те же карбонатные формации, а также терригенные формации с меньшими мощностями и прерывистым разрезом. Как для линейных геосинклиналей, так и для линейных геосинклиналей характерны выдержанность фаций по простиранию и быстрая их изменчивость вкрест простирания.

Существуют многочисленные другие определения и характеристики геосинклиналей и геосинклиналей. Это связано с большим разнообразием их в природе и стремлением исследователей воспользоваться примерами наиболее знакомых им районов. Среди геосинклиналей выделяются различные разновидности, например эвгеосинклинали и мюгеосинклинали, показываемые отдельно на обзорных тектонических картах последних лет.

О легендах тектонических карт

На обзорных тектонических картах в качестве относимых к первому рангу структурных элементов континентального блока осадочной оболочки выделяются обычно не древние платформы и геосинклинальные области, а области с различным возрастом основной (геосинклинальной) складчатости, причем области докембрийской (или дорифейской) складчатости полностью соответствуют древним платформам. Количество типов областей складчатости на разных картах различно. На тектонической схеме СССР (1933 г.) в качестве структурных элементов первого ранга выделены докембрийская, байкальская, каледонская, герцинская мезозойская и альпийская складчатости. Хотя структурные элементы второго ранга (структурные этажи) не выделяются, но на карте в неявном виде имеются указания на их существование. Так, указаны районы распространения каледонской и герцинской складчатостей в областях более молодых складчатостей.

Описание внутренней структуры последокембрийских складчатых областей достигается обозначением линий общих простираний. Чехлы платформ в качестве структурных элементов на карте в явном виде не выделяются, однако они намечаются изображением районов неглубокого и глубокого залегания фундамента; описание некоторой

внутренней структуры чехла Русской платформы достигается изображением валов и контуров распространения мезозойских и кайнозойских дислокаций.

Тектоническая схема СССР (1933 г.) является «родоначальницей» многих тектонических карт последующих десятилетий.

Так, впоследствии коллективом Геологического института под редакцией Н. С. Шатского работа над картой продолжалась, причем к ее составлению был привлечен более широкий коллектив исполнителей. Позднее в качестве структурных элементов первого ранга были выделены области девяти типов, а именно области архейской, протерозойской, байкальской, рифейской, каледонской, герцинской, мезозойской, альпийской складчатостей Юга СССР и кайнозойской Тихоокеанского пояса. Самостоятельное значение по отношению к этим структурным элементам имеют чехлы древних платформ и чехлы молодых платформ, которые, следовательно, также могут быть отнесены к первому рангу. Ко второму рангу принадлежат части структурных элементов первого ранга. Так, для протерозойской складчатости выделяются архейский фундамент и два структурных яруса, для байкальской и рифейской — четыре структурных яруса (в первом варианте карты для докембрийских складчатостей структурные этажи не выделялись, а описывалась внутренняя структура складчатых областей с выделением антиклинальных и синклинальных зон), для каледонской — четыре яруса и внутренние впадины на каледонском основании, для герцинской — четыре структурных яруса, причем к верхнему ярусу отнесены внутренние впадины и краевые прогибы, для мезозойской, а также для альпийской — по пять ярусов и, кроме того, внутренние впадины и краевые прогибы, для кайнозойской (Тихоокеанского пояса) — четыре яруса, а также вулканогенный комплекс окраинного пояса.

В отдельных случаях обозначаются структурные элементы третьего ранга, главным образом, путем разделения некоторых структурных ярусов на подъярусы (нижний и верхний структурные подъярусы нижнего яруса рифейской складчатости, нижнего и среднего ярусов герцинской складчатости, средний ярус кайнозойской складчатости). Структурные элементы второго ранга выделены в чехлах наименее изученных платформ — Сибирской, Африканской и Таримской в виде раннепалеозойских, среднепалеозойско-раннемезозойских и мезозойских чехлов. В качестве включений показаны не только массивы каменной соли, действующие и потухшие вулканы, но и отсутствовавшие в первом варианте массивы магматических тел с выделением гранитоидных, анортозитовых, щелочных и ультраосновных массивов.

Были использованы следующие средства описания структурных элементов. Форма чехлов описана изолиниями глубин фундамента (для Русской платформы, Западно-Сибирских плит и Предкавказья) или мощностями (для Сибирской и Африканской платформ и Таримского массива). Для описания внутренней структуры чехлов платформ, некоторых внутренних впадин и краевых прогибов показаны

стратонизогипсы по одиннадцати горизонтам, условные и дополнительные стратонизогипсы, а также контуры главных платформенных структурных форм. Внутренние структуры складчатых областей показаны линиями общих простираний, расположением антиклинориев и синклинориев.

Состав структурных элементов был совершенно не охарактеризован. Позднее появилось изображение зон сгущения интрузивных траппов на Сибирской платформе и вулканогенные пояса Дальнего Востока; разломы были показаны, но не классифицированы.

Тектоническая карта СССР масштаба 10 000 000, изданная в 1961 г. под редакцией А. А. Богданова, отличается появлением новых структурных элементов первого ранга в связи с расчленением протерозойской складчатости на свекофинскую, карельскую и готскую. Структурные элементы второго ранга выделены только в чехле Сибирской платформы (палеозойский и позднепалеозойско-мезозойский чехлы). Для областей складчатости вместо расчленения их на структурные элементы второго ранга дается описание их внутренней структуры с выделением антиклинальных и синклинальных зон, а также древних ядер, внутренних впадин и краевых прогибов. В качестве включений кроме массивов изверженных пород, соляных массивов и вулканов изображены также вулканические трубки. Карта 1961 г. представляет значительный прогресс в смысле изображения состава. Здесь, в частности, выделены особо многосинклинали и эвгеосинклинали, зоны вулканических излияний в областях альпийской и кайнозойской складчатостей, краевой вулканический пояс герцинид (варисцид), области мигматизации и гранитизации. Проведена классификация разломов: выделены тектонические швы, собственно разломы и пологие надвиги с детализацией их структуры путем показа контуров тектонических окон и останцов.

В 1964 г. появилась Международная тектоническая карта Европы, на которой по сравнению с картой 1961 г. значительно расширено описание состава структурных элементов. Введено изображение главнейших типов формаций, а именно лептитовой и джеспилитовой, спилито-кератофировой, наземных вулканических излияний, геосинклинальной известняковой, угленосной, барьерных рифов, флиша и молассы. Детализировано изображение метаморфизма; отдельно показаны гранулиты, области мигматизации и гранитизации, метаморфические сланцы палеозойских и альпийских складчатых областей.

Значительно расширено количество условных обозначений для изображения внутренней структуры складчатых областей. Так, отдельно показаны: прямые, наклонные и опрокинутые антиклинории и синклинории, гнейсовые купола. Более детально изображены типы разломов — отдельно показаны взбросы, сбросы, сдвиги, крутые надвиги, пологие надвиги и шарьяжи.

В заключение рассмотрим легенду Карты тектоники докембрия континентов 1972 г. Здесь впервые в качестве структурных элементов выделены структурно-вещественные комплексы, охарактеризованные

формационным составом и возрастом. Всего выделено 22 типа таких комплексов. Структурные элементы второго ранга не выделяются. В виде включений показаны массивы гранитоидов, а также одним знаком массивы габброидов и гипербазитов. Внутренняя структура подавляющего большинства комплексов описана линиями общих простираний; показано деление комплексов на складчатые и нескладчатые. Состав комплексов описывается указанием типов формаций. Выделяются формации платформенного типа с подразделениями на терригенные и терригенно-карбонатные и формации геосинклинального типа с подразделением на осадочно-вулканогенные с эффузивными породами основного состава и осадочно-вулканогенные с эффузивными породами среднего и кислого состава, терригенные, карбонатно-терригенные и карбонатные. Кроме того, показаны комплексы глубокометаморфизованных пород с выделением гиперстеновых гнейсов и сланцев, амфиболитовых плагиогнейсов и сланцев, гнейсов и сланцев кислого и среднего состава, мраморов и гнейсов, а также районы распространения различных эффузивных пород в составе платформенных комплексов.

При составлении карт был соблюден принцип однородности описания, что создает условия для сравнительного анализа выделенных на карте структурных элементов.

Динамические системы

В качестве динамической системы можно рассматривать любой геологический процесс (если он может быть выделен в природе как органичная целостность ряда элементов — состояний, частных процессов), обусловленный определенными их связями и отношениями (например, скоростями изменения состояний), образующими ее структуру. Очевидно, любые геологические процессы, описываемые, например, в общих руководствах по физической геологии (эрозионные, суффозионные, абразионные, элювиальные, вулканические, сейсмологические, седиментационные, диагенетические и др.), а также в региональных работах, могут быть представлены в виде динамических систем.

Геологические процессы

Под геологическими процессами следует понимать такие процессы, в результате которых изменяются размеры, форма, состав, структура или расположение геологических тел; или же разрушаются старые и формируются новые геологические тела.

По аналогии со статическим пространством, по-видимому, возможно использование понятий неполноопределенного (таблицы измерений состояний или положений тела в последовательные моменты времени) и полноопределенного (кривая или диаграмма, составленные по этим таблицам) динамического геологического пространства; первое соответствует уровню наблюдений, второе — уровню конструкций или моделям. Можно также представить себе сложную динамическую систему — систему взаимосвязанных (взаимозависимых) процессов. В таком случае элементарная динамическая система (простой геологический процесс) выступает как элемент сложного геологического процесса. В структуру сложной системы кроме скорости изменения входят также причинно-следственные связи. Например, с элементарным геологическим процессом, заключающимся в изменении температуры геологического тела, может быть функционально связан процесс изменения его пористости или минерального состава; или же с процессами переноса течением реки некоторой минеральной массы может быть функционально связан процесс изменения ее гранулометрического состава.

Среди геологических процессов можно различать геологические процессы физической, химической и биологической (биохимической) природы. Особо могут быть выделены процессы

радиоактивного распада, которыми занимается радиогеология, техногенные процессы, вызванные деятельностью человека, его воздействием на природу. К последним относятся проседание поверхности Земли и образование карста над подземными горными выработками, изменение размеров и положения залежей флюидов (нефти, газа, природных вод) под воздействием разработки месторождений, различные изменения в геологической деятельности рек и озер в связи с гидротехническими сооружениями и т. д.

Геологический процесс может быть однородным, если все входящие в него элементарные процессы имеют одну и ту же природу, и неоднородным, если природа этих элементарных процессов различна. Среди геологических процессов могут быть выделены различные их виды по геологическим результатам. Таковы, например, процессы выветривания (механической, физической, химической, биохимической природы), процессы денудации, заключающиеся в разрушении земной поверхности за счет различных факторов (речного размыва — эрозия, выпахивания ледниками — экзарация, разрушения наступающим на сушу морем — абразия и др.), процессы переноса и отложения осадков, процессы диагенеза, метаморфизма, образования кристаллических горных пород, вулканизма, сейсмичности, тектогенеза и т. д.

Ю. Ф. Левинсон-Лессинг [100] делил по этому признаку все геологические процессы на: 1) вулканические (в широком смысле, включая глубинный вулканизм, т. е. плутонизм), 2) денудационные и 3) дислокационные.

Геологические процессы принято делить по генетическому признаку на: 1) экзогенные, происходящие за счет солнечной энергии на поверхности Земли, и 2) эндогенные, вызываемые внутриземными источниками энергии.

Применение понятия «динамические системы» в геологии и, в частности, в тектонике ограничивается современными геологическими (тектоническими) процессами, т. е. процессами, которые можно непосредственно наблюдать и измерять или же моделировать по экспериментальным и теоретическим данным. Представления же о процессах прошлого, не наблюдаемых непосредственно, а реконструируемых по наблюдениям в статических геологических системах с использованием метода актуализма, выходят за рамки динамических систем. Это связано, в частности, с тем, что методика изучения геологических процессов прошлого и современных геологических процессов существенно различна. Можно назвать по крайней мере три метода исследования современных геологических процессов: 1) метод наблюдений, 2) экспериментальный (экспериментальная геология, экспериментальная тектоника) и 3) теоретический и, соответственно, три типа моделей процессов, которые обозначим $D_{\text{н}}$, $D_{\text{э}}$ и $D_{\text{т}}$.

В первом случае геологические процессы изучаются методом непосредственных наблюдений и измерений в моменты времени, фиксируемые посредством часов. Под часами понимается любой природный периодический процесс (от качания маятника до обращения

небесных светил), который может быть положен в основу системы отсчета времени. Поэтому мы будем считать непосредственными не только те наблюдения и измерения, которые сделаны одним лицом, но и те, которые сделаны многими лицами, в частности жившими в разных районах в разное время, но пользовавшимися единой системой отсчета времени, например летоисчислением.

Во втором случае геологический процесс моделируется в лабораторных условиях. По модели (D_3) процесса (или системы процессов) можно судить об его элементах, которые недоступны для наблюдения в природных условиях (например, глубинные процессы). Таким образом, экспериментальный метод позволяет создавать более расширенные модели современных геологических процессов, чем модели, которые могут быть построены на основе непосредственных наблюдений (D_n). В частности, экспериментальные модели (D_3) позволяют судить о возможных причинно-следственных связях между природными геологическими процессами или состояниями. Гипотезы о таких связях позволяют проектировать исследовательские работы, направленные к обнаружению этих связей в природе.

В третьем случае осуществляется теоретическое исследование геологических процессов на основании законов и методов механики, физики и химии. При этом обычно решается вопрос, что может и что не может иметь место с позиций этих законов в геологическом процессе. Теоретические исследования наряду с экспериментальными, дополняя непосредственные наблюдения, позволяют создавать расширенные модели процессов, подлежащие практической проверке в условиях реального (природного) современного геологического процесса.

Поясним соотношения теоретических исследований с наблюдением и экспериментом. Так, Ф. Тернер и Д. Ферхуген, рассматривая вопрос о фазовых превращениях в горных породах, пишут: «Лабораторные эксперименты не в состоянии, по-видимому, дать ясной и полной картины того, что происходит в земной коре. Несмотря на огромное количество экспериментальных работ по синтезу гидротермальных минералов, способ их образования до сих пор не ясен. Мы должны, следовательно, пользоваться более мощными средствами и общими основными законами; естественно, что мы в первую очередь обращаемся к термодинамике — науке, показывающей, что возможно и что невозможно, а также определяющей пути развития процесса. Существуют общие законы, управляющие всеми превращениями; нет никакого сомнения, что им должны подчиняться даже массивные горные породы» [155, стр. 14].

По Б. Гутенбергу [63, стр. 17], «большинство сведений о свойствах и процессах, происходящих в Земле глубже самой верхней части земной коры, мы получаем, применяя теоретические выводы к явлениям, наблюдаемым на земной поверхности». В качестве примера он приводит использование наблюдаемых времен пробега упругих волн внутри Земли для вычисления скорости этих волн на различных глубинах, а также изучение жесткости внутренних частей Земли по

наблюдениям над твердыми приливами. Однако построение моделей глубинных процессов часто может включать экстраполяцию теоретических положений «за пределы той области, в которой они справедливы» [63, стр. 18].

Исследования современных глубинных процессов, несмотря на недостаточность непосредственных наблюдений и слишком отдаленных экстраполирующих экспериментальных и теоретических данных, тем не менее коренным образом отличаются от исследования процессов геологического прошлого. В первом случае в принципе возможна постановка дополнительных исследований, направленных к проверке соответствия построенной модели процесса с его оригиналом; во втором случае это вообще невозможно, так как ретроспективная система не имеет оригинала.

Имея в виду три основных метода исследования геологических процессов и трех типов моделей (D_n , D_s и D_T), укажем на часто применяемые комбинированные методы, представляющие различные их сочетания, и соответствующие модели ($D_{нз}$, $D_{нт}$, $D_{эт}$, $D_{нэт}$). Кроме того, возможно суждение о процессах по парагенезам. Последние относятся к связанному с одним из членов некоторого парагенеза геологическому процессу, который не наблюдался и не исследовался ни экспериментально, ни теоретически, а представление о нем основывается на аналогии с входящим в данный парагенез другим членом, для которого соответствующий процесс (формирования, изменения и т. д.) так или иначе изучен. Такое суждение о геологическом процессе, нередко встречающееся в специальной литературе, представляет собой умозаключение по условной аналогии.

Сравнение иерархии статических систем с соответствующей ей иерархией геологических процессов показывает, что модели статических систем высших рангов могут быть построены по непосредственным наблюдениям и измерениям (с применением пространственной интерполяции и экстраполяции этих данных), а модели процессов соответствующих рангов не могут быть построены на аналогичной основе; для таких процессов на основании непосредственных наблюдений могут быть построены модели лишь некоторых их компонентов. Сами же процессы в целом могут быть представлены лишь в виде ретроспективных реконструкций и, следовательно, изучение их выходит за рамки динамических систем в том понимании, которое здесь было дано, и требует иной методики.

Представим себе иерархию статических систем, включающую шесть рангов, и соответствующую ей иерархию геологических процессов. К шестому (низшему) рангу отнесем кристаллы (минералы) и соответственно процессы образования, изменения и разрушения минералов, к пятому — горные породы и процессы образования, изменения и разрушения горных пород, к четвертому — слоистые толщи и геологические формации и процессы их формирования и изменения, к третьему — ассоциации формаций (структурные элементы осадочной оболочки, такие, как геосинклинали, геосинклинальные области, платформы и т. д.) и соответствующие процессы,

ко второму — осадочную оболочку (в петрографической специализации статического пространства) и земную кору (в физической специализации) и процессы формирования и преобразования осадочной оболочки и земной коры, к первому — Землю в целом и процесс ее развития.

Шестой ранг принадлежит первому главному уровню организации вещества, пятый ранг — как первому, так и второму уровням, остальные ранги — второму уровню. В зависимости от уровня организации вещества находится не только структура статических систем, но и физическая природа процессов, их сложность, заключающаяся, в частности, в том, что процесс высшего ранга включает процессы всех низших рангов, и их длительность, возрастающая от низших рангов к высшим. С длительностью процессов связаны границы той их области, которая подлежит компетенции динамической геологии и тектоники. Так, процессы шестого ранга могут непосредственно наблюдаться в природных и экспериментальных условиях и изучение их входит полностью в сферу динамических систем в области кристаллографии и минералогии. Процессы пятого ранга принадлежат этой сфере лишь в основном. При изучении процессов четвертого ранга использование динамических систем возможно лишь в отдельных случаях (застывание последовательных лавовых потоков, накопление толщ эоловых песков, аллювиальных отложений, в меньшей степени — морских осадков). При изучении процессов высших рангов непосредственно могут наблюдаться лишь некоторые их компоненты (элементы) — отдельные частные быстротекущие процессы. Одни процессы, например процессы образования минералов, являются «сквозными» в том смысле, что они входят в сложные процессы всех более высоких рангов, другие же процессы, например движений земной коры, являются компонентом процессов только трех высших рангов.

Исследование динамических систем имеет по крайней мере три практических аспекта. Первый аспект относится к изучению среды обитания человека. Изучение геологических процессов может быть направлено к предсказаниям и предупреждениям стихийных бедствий, связанных с движением земных масс (землетрясения, цуны, селевые потоки, оползни, извержения вулканов и т. д.). Оно может быть также направлено к изучению условий строительства в связи с движениями земной коры. Второй аспект связан с природными ресурсами. Направлен на изучение движений и температур подземных вод в интересах использования подземного тепла, а также динамики залежей флюидов (нефть, газ, минеральные воды) в интересах рационализации их разработки, а именно, определения мест заложения скважин, полноты извлечения из недр и т. д.). Третий аспект связан с ретроспективными конструктами, основанными на исследовании динамических систем и используемыми для построения прогнозных моделей и в конечном счете для определения направления поисков полезных ископаемых.

Выделяются две группы процессов, соответствующих главным уровням организации вещества. Процессы первой группы (в основном

процессы минералообразования) являются процессами физико-химическими и могли бы рассматриваться как таковые, а не в ряду геологических процессов. Однако минералы представляют основные «кирпичики» земной постройки, и многие геологические процессы более высокого ранга включают минералообразование в качестве необходимого компонента. Различные же минералы образуются, сохраняются и разрушаются в определенных термодинамических и физико-химических условиях, свойственных тому или иному участку поверхности или недр Земли. В силу этого процессы минералообразования являются не только составной частью геологических процессов более высоких рангов, но и важным индикатором условий их протекания.

Во вторую группу включаются процессы, связанные с образованием и разрушением геологических тел более высоких рангов, чем минералы, а именно различные слоистые и массивные толщи и геологические формации, а также некоторые горные породы. Учитывая «двойственную природу» горных пород, укажем, что процессы их образования иногда принадлежат преимущественно первому, иногда же преимущественно второму главному уровню организации вещества. Ко второй группе относятся процессы выветривания, переноса, отложения и диагенеза осадков, процессы образования расплавов, вулканизма, отложения и кристаллизации вулканогенного материала, а также процессы метаморфизма.

Экспериментальные исследования геологических процессов

В результате геологических экспериментов могут быть получены модели природных процессов (D_3), строящиеся по аналогии экспериментальных данных с природными процессами. В данном случае речь идет о безусловной аналогии, поскольку установлены и известны связи между некоторым признаком природного процесса соответствующего ему экспериментального процесса, а также между некоторыми признаками процесса.

В каждом природном геологическом процессе можно различать: во-первых, вещество (минерал), из которого состоит геологическое тело (или тела), участвующее в процессе, и, во-вторых, условия, в которых происходит формирование (перемещение, изменение, распад) этого геологического тела.

Любое природное вещество обладает весьма большим количеством свойств (плотность, цвет, электропроводность, химический состав, содержание того или иного изотопа и т. п.); любые природные условия также могут быть охарактеризованы в очень многих отношениях (давление, температура, концентрация химических элементов, влажность, климат, состав среды, существование и интенсивность механических напряжений и т. д.).

Природные условия в эксперименте всегда замещаются эквивалентными условиями, т. е. условиями, отвечающими природным,

но только лишь в некоторых отношениях, которые представляются экспериментатору существенными при изучении данного процесса, или даже лишь те из них, которые оказывается возможно воспроизвести в эксперименте. Таким образом, любая модель D_0 будет соответствовать природному процессу только в некотором отношении.

В эксперименте могут быть использованы природные материалы со всеми присущими им свойствами (тождественные материалы) или эквивалентные материалы, т. е. обладающие лишь теми свойствами природного материала, которые считаются существенными, или такими свойствами, которые могут представлять соответствующие им свойства природного материала в эквивалентных условиях эксперимента. Применение эквивалентных материалов оказывается совершенно необходимым, когда размеры пространства и длительность протяжения изучаемых экспериментальным путем природных процессов значительно превосходят экспериментальные (лабораторные) возможности. Это, в частности, имеет место при экспериментальном воспроизведении процессов, распространяющихся на большие объемы геологического пространства и обладающих «геологической» длительностью (например, процесс образования тектонических форм по крайней мере до шестого порядка).

В тектонических исследованиях используются главным образом два типа экспериментов. Во-первых, эксперименты, предназначенные для исследования деформаций горных пород при высоких давлениях и температурах, соответствующих большим глубинам земных недр или областей высоких напряжений в зоне глубинных разломов. В таких экспериментах используются тождественные материалы. В лабораторных условиях могут быть получены, например, ориентированные структуры горных пород. Сопоставляя результаты этих экспериментов с природными ориентированными горными породами, можно по аналогии высказать мнение о *PT*-условиях их образования.

Во-вторых, эксперименты, предназначенные для исследования механизма образования дислокаций (складок, куполов, сбросов, складчатых систем и систем разломов с их сложным рисунком, систем трещин и т. д.). В таких экспериментах используют эквивалентные материалы, обладающие некоторыми качествами, свойственными моделируемому горным породам (способность к течению, изгибам, раскалыванию, разбуханию и т. д.). Желательно, чтобы соотношения свойств природных и эквивалентных материалов, размеров природного объекта и экспериментальной модели и времени протекания процесса деформации в природе и модели были бы определены количественно в соответствии с теорией подобия. Однако в этом отношении еще очень мало достигнуто, и большинство экспериментов дают чисто качественные результаты.

Для экспериментов первого типа применяются камеры и бомбы высокого давления, а для экспериментов второго типа различные стенды, в частности «ящики сжатия» разнообразных типов.

Современные движения земной коры

В качестве примеров динамических систем рассмотрим современные движения земной поверхности. Эти процессы сами по себе не включают никаких превращений вещества и полностью могут быть охарактеризованы кинематически. Они являются глобальными, т. е. повсеместными, поскольку речь идет о поверхности Земли, и непрерывными по времени. Природа связана с тем, что массы земной коры стремятся к равновесию в соответствии с фигурой гидростатического равновесия Земли, однако равновесие этих масс постоянно нарушается за счет внутриземных процессов и внешних влияний. Движения масс земной коры выражаются в движении поверхности Земли. Эти движения имеют различные знаки (вверх, вниз), различные скорости (от десятых миллиметра в год до очень больших при землетрясениях), различные направления (от вертикальных до горизонтальных) и весьма широкий спектр, выражающийся в размерах площадей земной поверхности, охватываемых одновременно движениями одного знака и близкой интенсивности (от нескольких до миллионов квадратных километров).

Изменения положения земной поверхности могут, впрочем, иметь двоякую природу. Во-первых, эти изменения могут наступать в результате размывов и осадконакопления, ведущих соответственно к понижениям и повышениям положений земной поверхности. В таком случае эти изменения связываются с разрушением или наращиванием осадочной оболочки; земная же поверхность в каждый момент своего перемещения будет изменять свой вещественный состав, т. е. будет представлена различными системами вещественных частиц. Во-вторых, изменения положения земной поверхности могут происходить при ее фиксированном вещественном составе, причем в процессе ее размещения не будет происходить ни нарушения, ни наращивания осадочной оболочки. Именно движения этой второй природы, соответствующие движениям земной коры, отражают перемещения масс некоторого слоя, который может отвечать части земной коры, может ей соответствовать, а может захватывать, кроме того, и верхнюю мантию.

Все методы измерения движений земной коры заключаются или в измерении движений земной поверхности относительно уровня моря (поверхности геоида), или в измерении относительного горизонтального смещения точек земной поверхности. Среди движений земной коры различаются охватывающие крупные территории вплоть до целых континентов — медленные — вековые движения, на общем фоне которых проявляются охватывающие сравнительно небольшие площади — локальные движения, а также «упругие» движения, вызывающие лишь обратимые (упругие) деформации земной поверхности. Различают также «к в а з и у п р у г и е» д в и ж е н и я, заключающиеся, например, в устойчивом поднятии участков земной поверхности после снятия с них ледникового покрова (Фенноскандия). К «квазиупругим» движениям можно,

вероятно, отнести прогибания поверхности Земли под тяжестью городских и портовых сооружений, установленные в Риге, Бремене, Токио и других городах и достигающие сантиметров и десятков сантиметров в год (в Токио 40—56 см за 2—4 года); прогибания эти связаны со сжатием поверхностных грунтов в слое 20—30 м.

Движения земной коры с кинематической стороны могут быть охарактеризованы траекториями и скоростями. Траектории представляются сложными, хотя они совершенно недостаточно изучены. Многочисленные данные о скоростях относятся в основном к вертикальной компоненте, устанавливаемой повторными нивелировками поверхности Земли. Вообще, когда идет речь о скоростях современных движений, имеется в виду их вертикальная компонента, определяемая для интервала времени измерений. В районах, где проводились повторные триангуляции, устанавливается, что горизонтальная компонента иногда значительно превышает вертикальную. Вертикальная компонента вековых движений обычно измеряется долями или первыми миллиметрами в год, горизонтальные же смещения триангуляционных пунктов в Баварии составляют до 18 мм в год; смещения эти не случайны, а отражают горизонтальные перекашивания крупных (до 100 км в поперечнике) участков земной поверхности. Траектории движения частиц, слагающих поверхность Земли, можно представить как геометрическую сумму (вектор) вертикальной и горизонтальной компонент для интервала между двумя точками измерения. В действительности эти траектории могут обладать очень сложной формой. Для вековых движений не было получено данных для изображения траектории по многим точкам измерения, быстрые же движения поверхности Земли (при землетрясениях) характеризуются известной моделью Монтесю де Баллора, изображающей путь, пройденный точкой земной поверхности во время землетрясения в Токио 15 января 1887 г.

Как показывают повторные нивелировки и измерения другими методами, вековые движения земной коры являются повсеместными и непрерывными. Они, однако, обладают разными знаками и скоростями, меняющимися в пространстве и времени. Таким образом, в смысле распределения скоростей и знаков движений земной коры поверхность Земли представляется неоднородной: одни ее участки имеют тенденцию устойчивого поднятия, другие — устойчивого прогибания.

Локальные движения часто пространственно приурочиваются к определенным тектоническим дислокациям. В этом случае локальные движения земной поверхности связываются с движениями масс, образующих ту или иную дислокацию. Например, по данным Д. М. Лиса [105], антиклиналь Шур (Месопотамия) пересечена в первом или во втором столетии нашей эры ирригационным каналом. Установлено, что ложе канала за 1700 лет поднялось на 18 м на участке протяженностью 4 км, соответствующем своду антиклинали. Следовательно, средняя скорость поднятия земной поверхности над антиклиналью 10 мм/год; этот замер может быть отнесен к скорости

роста антиклинали. Повторными нивелировками в районе оз. Баскунчак были установлены современные поднятия земной поверхности над ядром инъективной дислокации — соляным массивом горы Б. Богодо на 4 мм за 7 лет (нивелировки производились в 1951 и 1958 гг.) и опускания над смежной с этим ядром, располагающейся в районе озера, синклиналию на 8 мм за 7 лет. Эти движения земной поверхности можно связать с подъемом соляного массива и опусканием смежной с ним синклинали.

* Непосредственными измерениями в ряде районов констатируется перемещение точек земной поверхности, расположенных по разные стороны разлома (дизъюнктивные дислокации). Так, установлена скорость относительного горизонтального перемещения блоков, разделенных известным разломом Сан-Андреас в Калифорнии, со скоростью 50 мм в год.

Локальные опускания поверхности Земли бывают пространственно приурочены к районам подземных разработок полезных ископаемых. На Апперонском полуострове за время разработки нефтяных залежей с 1912 по 1928 г. происходило опускание Романинской и Сабунчинской нефтеносных площадей (средняя скорость соответственно 16,7 и 11,5 мм в год). Зафиксировано опускание поверхности Земли на территориях больших городов на участках с усиленной эксплуатацией водоносных горизонтов, сопровождавшейся значительным снижением их напора. В Москве на таких участках земная поверхность осела на 350 мм с 1901 по 1958 г. В г. Мехико опускание к 1957 г. достигло 6—7 м, что привело к разрушению ряда зданий. В районе р. Сан-Джоакин (Калифорния), где усиленно эксплуатировались подземные воды, отмечается оседание земной поверхности на 2250 мм с 1947 по 1955 г. Известны случаи прогибания поверхности Земли под тяжестью водных масс искусственных водохранилищ (например, искусственное оз. Мид на р. Колорадо в Неваде). Локальные опускания поверхности Земли также фиксируются в районах действующих вулканов. Например, после извержения вулкана Сакура-Озима в 1941 г. нивелировкой установлены размеры концентрического проседания, достигающие 89,4 см.

Наряду с медленными перемещениями масс, участвующих в тектонических дислокациях, наблюдаются очень быстрые перемещения таких масс и очень быстрые образования новых дислокаций. Так, по свидетельству В. П. Солоненко [147], во время Гоби-Алтайского землетрясения 1957 г. в течение не более трех минут в плейстоценовой области образовались дизъюнктивные дислокации, принадлежащие почти ко всем типам, известным в структурной геологии. Основные перемещения произошли по крупному широтному разлому на протяжении 240—250 км, причем размер горизонтальных перемещений достигал 8,85 м, а вертикальных — 4 м. В плейстоценовой области появились сбросы с перемещениями до 10,7 м, ступенчатые сбросы, сбросо-сдвиги, надвиги, сдвиги, антиклинали (высотой 4—5 м, длиной 15—20 м), купола, грабены, горсты и т. д.

Результаты Гоби-Алтайского землетрясения были описаны с большой тщательностью. Смещения же поверхности Земли отмечались при всех крупных землетрясениях. Так, опускание на 3—5 м на площади в несколько тысяч квадратных километров было зарегистрировано при Нью-Мадридском землетрясении 1811 г. (штаты Миссури и Тенесси в США). При Ассамском землетрясении 1897 г. отмечено поднятие плоскогорья на 6 м. Шестиметровое горизонтальное смещение двух разьединенных трещиной участков дороги описано после Сан-Францисского землетрясения 1906 г. По уже упоминавшемуся разлому Сан-Андреас, вдоль которого происходит медленный сдвиг поверхности Земли, во время этого землетрясения западное крыло быстро сместилось к северу на 7 м. Замеры дна в заливе Сагами (Япония), произведенные после Кантонского землетрясения 1923 г., показали значительные смещения дна на площади 1300 км² с достигшими сотен метров вертикальными перемещениями отдельных участков. В результате максимального вертикального смещения при землетрясении на Аляске в 1899 г. произошел подъем скалистого мыса на 16 м в районе горы Фэруэтер [138].

При изучении природного явления встает вопрос о его причинах. Так же дело обстоит и при изучении движений земной поверхности. Земная поверхность движется не сама по себе, а лишь отражает движения располагающихся под ней земных масс; из этого следует, что процессы, обуславливающие движения земной поверхности, происходят на некоторой глубине. Эти глубинные процессы, рассматриваемые совместно со связанными с ними процессами движения земной поверхности, представляют собой сложные процессы, один элемент является причиной, а другой — следствием.

Глубинные процессы, как правило, нельзя непосредственно наблюдать; о них обычно можно судить только по экспериментальным и теоретическим данным, а также по связанным с ними поверхностным процессам. Можно указать несколько случаев установления причинно-следственных связей между движениями земной поверхности и соответствующими им глубинными процессами.

К первому, наиболее простому из них, когда глубинные процессы могут быть непосредственно исследованы на уровне наблюдений, относятся техногенные движения. Здесь детально прослеживается и точно документируется ход искусственного глубинного процесса, например извлечение нефти и газа из недр, падение газового и гидростатического давления в нефтяных залежах, снижение напора артезианских вод, количество извлекаемой горной породы из систем подземных выработок и горизонтальные смещения их забоев во времени. Причинно-следственные связи прослеживаются здесь путем сравнения процесса — причины и процесса — следствия путем установления одинаковой локализации обоих процессов, подобия хода обоих процессов при отставании во время процесса — следствия.

Во втором случае о глубинном процессе, который мог бы считаться причиной движений земной поверхности, судят по другим

его поверхностным проявлениям. Например, проседание земной поверхности во время вулканического извержения в непосредственной близости к извергающемуся вулкану можно связать с выносом огромных масс вещества из недр Земли в виде вулканических лав. В данном случае проседание поверхности компенсирует образовавшийся в недрах недостаток масс и может быть отнесено поэтому к *компенсационным процессам*. Компенсационными являются также прогибания поверхности над горными выработками; разница здесь в том, что в первом случае вынос вещества из недр совершается естественным путем, а во втором — искусственным. О локализации вулканического очага, являющегося источником извержений и, следовательно, причиной образования вулканической депрессии, можно судить по статическим моделям сейсмологической специализации. Явления экранирования поперечных волн, не распространяющихся в жидкой среде, позволили Г. С. Горшкову [59] определить глубину (60 км), протяженность и мощность (25—35 км) и объем (10—20 тыс. км³) магматического очага Ключевского вулкана на Камчатке. Впрочем, разработка этого метода определения расположения вулканических очагов находится пока еще в начальной стадии.

Третий случай — когда используются статические модели и последние исследуются теоретическими и экспериментальными методами. Этот случай имеет два варианта. Во-первых, в результате таких исследований может быть выяснен или предположен автономный глубинный процесс, являющийся причиной движения поверхности земли; во-вторых, может быть установлено движение масс земной коры, обусловленное некоторой внешней причиной.

Первый вариант третьего случая может быть проиллюстрирован примером соляной тектоники, а именно образования выпуклого изгиба поверхности над соляным массивом и прогибания ее над смежной синклиналью. Данные статической геологии (результаты бурения и геофизических исследований) показывают, что соляные массивы представляют собой куполовидные или цилиндрические выросты на кровле соленосных толщ, залегающих на глубинах от 2—3 до 8—12 км. Массивы эти образованы компактной (т. е. такой, в которой нет пор и из которой не может быть выжата вода в условиях повышенного давления) каменной солью плотностью на 0,1—0,15 меньше плотности покрывающих пород. Теоретические расчеты показывают, что в такой ситуации соль в силу меньшей плотности, неравномерного распределения нагрузки на соленосную толщу и сравнительной низкой вязкости должна «всплывать» среди более плотных покрывающих пород, локализуясь в наименее нагруженных участках, при этом происходит горизонтальное перетекание соли в наименее нагруженный участок с его периферии. В результате одновременно с аккумуляцией соли в растущем соляном массиве происходит ее отток с участков, непосредственно примыкающих к массиву; кровля соленосной толщи на этих участках понижается, расположенные над ними участки поверхности Земли опускаются.

Так рисуется в общих чертах механизм глубинного процесса, обуславливающего сводообразное поднятие поверхности над соляным массивом и образование компенсационной депрессии вблизи него.

Рост соляного массива вследствие разности плотностей и возможность преодоления при этом внутреннего сопротивления покрывающих пород был теоретически обоснован Б. Л. Шнеерсоном [182]. Исходя из известного уравнения Максвелла, объединяющего упругие и пластичные свойства твердых тел, Б. Л. Шнеерсон показал, что при длительных тектонических процессах поведение горных пород определяется главным образом их вязкими свойствами, а упругими свойствами можно пренебречь. Поэтому он свел математическое решение задачи о росте соляного купола к плоской задаче о движении двух вязких жидкостей (ядро соляного купола было представлено в виде двумерного полукруга на жестком основании, а покрывающие породы дополнительной до полуплоскости областью) и пришел таким путем к выводу, что скорость роста соляного ядра пропорциональна разности плотностей соли и окружающих пород и обратно пропорциональна сумме их коэффициентов вязкости.

Рост соляных массивов, сопровождающийся образованием компенсационных впадин, неоднократно моделировался экспериментально. Для этого брались два вязких вещества различной плотности. Менее плотное помещалось на дне сосуда, более плотное располагалось над ним. Поверхность раздела делалась неровной — имела рельеф с выпуклостями. В результате легкое вещество текло к выпуклостям, которые росли, образуя штоки, морфологически подобные природным соляным штокам; вокруг штоков появлялись и постепенно углублялись компенсационные краевые депрессии. Первые эксперименты такого типа были проведены Л. Неттлетоном в США в 1934 г.; в качестве эквивалентных материалов им использовались парафин и ртуть.

При проседании поверхности Земли над разрабатываемыми залежами непосредственно наблюдаются оба звена сложного процесса — следственное и причинное. В случае же движения земной поверхности над соляным массивом причинное звено непосредственно не обнаруживается; природа глубинного процесса при этом реконструируется по данным статической геологии, теоретического анализа статической модели и эксперимента. Последовательность исследования здесь такая: непосредственные наблюдения и измерения процесса — следствия → тесная пространственная корреляция проявлений этого процесса с тектоническими формами или геологическими телами построенной в петрографической специализации статической модели, обоснованной данными бурения и надежно интерпретированными геофизическими данными → теоретическое исследование статической модели, указывающее на существование автономного процесса перераспределения вещества, который идет к развитию форм, коррелируемых с проявлениями процесса — следствия → экспериментальная проверка или иллюстрация теоретического вывода.

К первому варианту третьего случая может быть отнесен также пример предполагаемой связи между вековыми движениями поверхности Земли и процессами на поверхности Мохоровичича. Здесь вековые движения сопоставляются со статической моделью сейсмологической специализации. В этой модели намечается раздел М между корой и мантией, характеризующийся резким изменением значений v_p и v_s . Упругие свойства коры и мантии вблизи раздела М интерпретируются на петрографическом языке на основе корреляции v_p и v_s мантии и коры с этими же величинами, определенными в лабораторных условиях для распространенных типов горных пород. Такая корреляция, конечно, условна, так как, во-первых, сравнение скоростей может дать неоднозначные результаты, и, во-вторых, трудно учесть термодинамические условия, существующие на уровне раздела М. Далее предполагается (но это тоже одна из возможных гипотез), что раздел М разграничивает различные фазы одинакового в химическом отношении вещества, преобразующегося в связи с изменением *PT*-условий. Иными словами, предполагается, что М является фазовой границей. Для проверки данного предположения проводились эксперименты с различными горными породами базальтового состава, которые по своим свойствам могут соответствовать нижней части земной коры. Оказывается, что при давлениях менее 10 кбар и температуре 1100°С минеральные ассоциации представлены габбро и пироксеновыми гранулитами, а при давлении более 21 кбар и той же температуре породы представлены ассоциациями эклогитов [60]. Процесс перехода габбро в более плотный эклогит и обратно сопровождается изменениями объема, за счет которых могут быть отнесены наблюдаемые вертикальные компоненты вековых движений земной поверхности. Очевидно, что в данном случае мы имеем дело лишь с возможным объяснением движений земной поверхности, лишь с одним из вариантов гипотетического сложного процесса. «Эклогито-габбровый» вариант иллюстрирует лишь одну из возможных причин вековых движений. С ним могут сосуществовать в качестве процессов — причин также различные внутрикоровые и внутримантийные процессы.

Второй вариант третьего случая может быть проиллюстрирован примером связи движений земной поверхности со складчатыми и сбросовыми тектоническими дислокациями. Так, образование выпуклых изгибов поверхности Земли над сводами антиклиналей, а также вертикальные и горизонтальные смещения ее по разломам можно связать с представлением о напряженном состоянии земной коры и связанными с ними перемещениями масс или в виде изгибов слоев или сдвигов блоков. Такие преобразования могут быть проиллюстрированы на моделях из эквивалентных материалов. Чтобы подойти к выяснению причин перемещений и реконструкции процесса в более широком плане, необходимо прежде всего знать, какие горизонтальные и вертикальные движения испытывают соседние участки земной коры. Отсюда, естественно, следует, что для того чтобы представить причины различных частных движений земной

коры, надо выяснить картину движения земной поверхности в целом, в частности горизонтальные движения каждого ее участка, каждой ее точки. В настоящее время площади, покрытые повторными триангуляциями, ничтожно малы. Работа же по сплошной повторной триангуляции всей поверхности земного шара слишком трудоемка. В решении этой задачи можно надеяться на искусственные спутники Земли при усовершенствовании и повышении их точности.

Ретроспективные системы

Типы ретроспективных реконструкций

В качестве ретроспективных систем (моделей) рассматриваются ретроспективные реконструкции различного типа. Прежде всего это — реконструкции геологического времени и последовательности геологических событий. Эти реконструкции представляют собой основу (канву) геологической истории. Далее следуют ретроспективные реконструкции генетического типа, т. е. реконструкции обстановки и процессов геологического прошлого. Наконец, синтезом реконструкций первых двух типов являются историко-геологические реконструкции, к которым принадлежат реконструкции эволюции геологических процессов и реконструкции тектонических движений.

Геологическое время

В основе ретроспективных реконструкций геологического времени лежит истолкование последовательности геологических тел, как последовательности событий. Реконструирование событий и их соотношений является основой определения геологического (логического) времени.

Если физическое время устанавливается путем непосредственных наблюдений при помощи некоторого периодического процесса — колебаний маятника, вращения Земли вокруг своей оси и обращения ее вокруг Солнца, то в ретроспективных системах этот подход является нереализуемым. Геологическое время приходится восстанавливать логическим путем. Восстановление временной последовательности по результатам геологических событий прошлого превращается в построение сложнейшей логической реконструкции.

За основу построения геологического времени могут быть приняты различные геологические тела, свойства, отношения, рассматриваемые как свидетельства некоторых событий. Наиболее распространены реконструкции времени, основанные на литологических и биостратиграфических свойствах, на телах, выделяемых по этим свойствам, и на отношениях этих тел. Характерной чертой таких реконструкций является отдельный подход к восстановлению разновременности и одновременности геологических событий. Для восстановления разновременности выбираются одни наблюдаемые отношения геологических объектов и аксиомы, для восстановления одновременности — другие отношения и аксиомы. При радиологических

реконструкциях геологического времени принимают за исходный материал цифры соотношений материнского и дочернего радиоактивных изотопов, интерпретируемые при помощи некоторой совокупности аксиом как цифры «абсолютного» возраста. Цифры «абсолютного» возраста позволяют восстанавливать сразу оба временных отношения.

Литологическая реконструкция. Необходимый исходный материал: вертикальная стратиграфическая последовательность пластов или слоистых толщ, латеральная литологическая непрерывность каждого пласта или каждой слоистой толщи. На основании закона Стено устанавливается отношение разновозрастности: в серии нормально залегающих пластов вышележащий пласт моложе нижележащего. Аналогичный закон (мы предложили бы сформулировать его так: все точки одной и той же литологической границы разновозрастны), позволяющий переводить отношение латеральной литологической непрерывности в отношение разновозрастности, не сформулирован в явном виде, однако совершенно очевидно, что подобный перевод может осуществляться только на основании этого закона. Хотя, когда речь шла о слоистой структуре, говорилось, что литологические границы пересекают изохронные поверхности. При реконструкциях времени по литологическим признакам единственно возможным допущением является представление об разновозрастности литологических границ; если же не учитывать последнего, то реконструкция геологического времени в пространстве литологической специализации становится невозможной.

Биостратиграфическая реконструкция. Необходимый исходный материал: вертикальная последовательность распределения в стратиграфических разрезах видов, родов, других таксонов, или последовательность в тех же разрезах комплексов органических остатков. Стратиграфические отношения «выше» для этих объектов, так же как и в предыдущем случае, интерпретируются как возрастные отношения «моложе», а отношения сходства по указанным признакам — как отношения разновозрастности. Основанием перевода отношения палеонтологического сходства в отношении геологической разновозрастности служит закон Смита [172]. Утверждение о более молодом возрасте фаун и флор, залегающих выше, можно рассматривать как следствие закона Стено, или как частный случай этого закона.

Радиологическая реконструкция. Необходимый исходный материал: количественные соотношения материнского изотопа радиоактивного элемента с большим периодом полураспада и дочернего изотопа этого элемента. В качестве основания перевода этих соотношений в цифры «абсолютного» геологического возраста обычно рассматривается физический закон, утверждающий постоянство скорости радиоактивного распада во времени. Не в столь явной форме вводится допущение, что к датированному моменту присутствовал только материнский изотоп, а содержание дочернего изотопа равнялось нулю и что за весь отрезок времени, вплоть до момента

анализа, не происходило ни привноса, ни выноса ни дочернего, ни материнского изотопов.

Одновременное использование нескольких реконструкций времени для восстановления возрастных отношений одних и тех же объектов зачастую приводит к противоречиям.

Особенно многочисленны противоречивые примеры в восстановлении возраста радиологическим методом, с одной стороны, и палеонтологическим и литологическим методами — с другой. Так, для стратиграфических единиц, залегающих выше, часто были получены цифры «абсолютного» возраста большие, чем для нижележащих единиц. Лавы древних (около 100 лет) излияний камчатских вулканов были датированы 7 млн. лет.

Более того, даже при использовании разных признаков в пределах одной и той же реконструкции обнаружилось множество противоречий. Так, неоднократно отмечались случаи обратной последовательности в разных разрезах одних и тех же видов или комплексов органических остатков, случаи совместного нахождения в одном пласте видов или комплексов фауны и флоры, в других местонахождениях располагающихся один выше другого.

Согласно Х. Хедбергу [191], все границы, которые могут быть приведены по наблюдаемым признакам, находятся в произвольных соотношениях с «истинным» временем, из чего следует, что это «истинное» время неустановимо на основе наблюдений. Было предложено различать понятия «идеальная хроностратиграфическая единица» и «операционная хроностратиграфическая единица» [196]. Если первое понятие определялось как комплекс отложений, сформировавшийся за некоторый промежуток времени, то второе — как реальное тело, выделяемое по наблюдаемым и измеряемым признакам (в частности, по литологическим, палеонтологическим или радиологическим), которое может быть принято за наибольшее возможное приближение к «идеальной» единице. Конструкцию, соответствующую такому приближению, можно назвать эталонной.

При выборе эталонной конструкции будем руководствоваться пригодностью полученного логического времени для тектонических, структурных построений. При радиологическом определении времени мы вынуждены были бы считать геологические объекты, имеющие большие цифры «абсолютного» возраста, более древними, даже если бы они занимали в нормальной стратиграфической последовательности пластов более высокое положение. «Изохроны» при таком подходе имели бы прихотливые очертания и находились бы в сложных отношениях со стратиграфической последовательностью и структурой геологического пространства. Эталонная конструкция должна соответствовать требованию операционной определенности, кроме того, она должна быть непротиворечивой. Требованию операционной определенности отвечает биохронологическая конструкция [146], однако она, как это можно было видеть, не свободна от противоречий. Видимо, следует ограничить множество признаков, используемых при ее построении, только непротиворечивыми системами. Если при

этом окажется, что сформулированным требованиям непротиворечия отвечают и литологические признаки, их тоже можно включить в исходное множество. Такая литолого-палеонтологическая реконструкция времени будет универсальной и единой для любого геологического пространства литологических и биостратиграфических специализаций.

Остановимся на соотношении временных представлений с принципом специализации. Может показаться, что предложение о единой временной шкале находится в определенном противоречии с этим принципом, согласно которому разбиение пространства и упорядочение его структуры должно проводиться по каждому списку свойств отдельно. Единая временная координатная ось никоим образом не отменяет специализированные тектонические построения, напротив, она позволяет производить их сравнение, нахождение инварианта, или, наоборот, различий. Еще более значимо понятие универсального времени, не связанного с определенной узкой специализацией, в ретроспективных геологических системах, где, по какому бы списку литологических или палеонтологических свойств пространство ни расчленялось, всегда необходимо построение «хроностратиграфического поля».

Определив понятие времени в геологии, можно переходить к его использованию, к синхронизации и построению «хроностратиграфического поля». Хронологическая корреляция или синхронизация сводится к двум операциям — выбору системы опорных точек, для которых возраст вещества определен, и интерполяции (экстраполяции) изохронных поверхностей, что обычно проводится на основе прослеживания стратиграфических уровней.

Использование стратиграфических разрезов при стратиграфической корреляции и при синхронизации обладает своими особенностями. Так, при стратиграфической корреляции задача сводится к прослеживанию слоев, выделяемых по вещественным признакам; эти слои не обязательно синхронны на всем их протяжении, и хроностратиграфическая датировка их необязательна. При этом границы, выделяемые в разрезе по какому-либо признаку, не могут быть уточнены по другим признакам. Например, границы выделяемого по петрографическому признаку песчаникового пласта не могут быть уточнены в данном разрезе по находкам фауны или по измерениям физических свойств. Эти несобственные признаки могут быть использованы при наличии соответствующих корреляционных связей с основным признаком пласта только при его прослеживании в сторону от данного опорного стратиграфического разреза.

Иначе дело обстоит при синхронизации. Здесь задача сводится к прослеживанию изохронных горизонтов, которые не обязательно на всем протяжении имеют одинаковый вещественный состав, по каким признакам он ни был бы определен. Для изохронных горизонтов обязательна хроностратиграфическая датировка, которая, конечно, может иметь весьма различную точность. Хроностратиграфические горизонты не могут пересекаться.

Совкупность точек геологического пространства, для которых определен геологический возраст пород, и изохронных поверхностей можно представить как «поле геологических возрастов горных пород» или как «хроностратиграфическое поле». В последнем в принципе можно провести любое количество изохронных поверхностей. Построенные таким образом изохронные поверхности могут в деталях не соответствовать тем подлинным изохронным поверхностям, которые мы могли бы построить, если бы были свидетелями процессов осадконакопления и породообразования в геологическом прошлом и могли бы непосредственно измерять скорости этих процессов.

Вместе с тем хроностратиграфическое поле такое, каким мы можем себе его представить сейчас, является хотя и очень приблизительной моделью осадочной оболочки, но необходимой для всех палеогеографических и историко-геологических построений.

Реконструкции генетического типа

Выше речь шла о реконструкциях последовательности событий и геологического времени. Особое место среди ретроспективных систем занимают реконструкции (модели) генетического типа. Они включают реконструкции фациальных условий, т. е. условий образования или преобразования минералов, горных пород и полезных ископаемых, палеогеографические реконструкции и реконструкции геологических процессов. Все эти модели строятся без учета течения геологического времени. При реконструкции фаций, палеогеографии, геологических процессов прошлого и т. д. мы отвлекаемся от длительности геологического времени и последовательности событий, отмечаемых на хроностратиграфической шкале, а рассматриваем реконструируемые явления так, как будто они приурочены к какому-либо одному «моменту» геологического времени. Подразумевается, что эти явления и процессы протекали не мгновенно, что они имели некоторую длительность, занимали некоторый отрезок «физического» времени, но к течению геологического времени не имели явного отношения. Время, к которому мы приурочиваем ретроспективные реконструкции генетического типа, назовем **фиксированным геологическим временем**.

Необходимо сделать общие замечания относительно использования причинно-следственных связей и применения метода аналогии в ретроспективной реконструкции генетического типа. При исследовании динамических систем мы прослеживаем определенные причинно-следственные связи между условиями, в которых протекает процесс, и результатами этого процесса. Наблюдая же в толще горных пород результаты некоторых процессов геологического прошлого, мы не можем использовать установленные при изучении динамических систем причинно-следственной связи для реконструкции по этим результатам тех обстановок, в которых протекал процесс. Однако, если справедливо прямое утверждение (данные условия при-

водят к данным результатам), то обратное утверждение (данный результат есть следствие именно данных условий) справедливо далеко не всегда. Чтобы обратное утверждение было справедливым, необходимо знать, что данный результат не может быть получен ни при каких иных условиях. Невозможность применения причинно-следственных связей, установленных при исследовании динамических систем, в ретроспективных реконструкциях заставляет ограничиваться выводами по аналогии.

«Выводы по аналогии вообще — это выводы, при которых посылки относятся к одному объекту, а заключение — к другому» [163, стр. 54].

Если мы считаем, что некоторая порода (например, известняк) образовалась в море, то мы можем по аналогии прийти к выводу о морском происхождении и о каком-либо древнем известняке. Выводы, основывающиеся на использовании принципа актуализма, целиком могут быть отнесены к выводам по аналогии.

Выводы по аналогии обычно не бывают однозначными. Об этом очень убедительно высказался еще в XI в. Ибн-Сина: «Это (заключение по аналогии) не является необходимым, потому что утверждение по сходству может противоречить утверждению по другому сходству, так как есть много вещей, которые в одном отношении схожи, а в тысяче других отношений различны. В отношении одного из них суждение будет правильным, или может быть правильным, а в отношении другого неправильным. Стало быть, аналогия может привлечь внимание и навеять сомнения, но не установить достоверность» [78, стр. 116—117].

Установить правильность вывода по аналогии можно только проверкой на уровне наблюдений. В ретроспективных системах такая возможность отсутствует.

Однако полезно все же ввести некоторые объективные критерии сравнения конкурирующих генетических выводов. Для такого сравнения в принципе может быть введена некоторая вероятностная мера, зависящая от существенности, количества и повторяемости используемых для выводов по аналогии независимых признаков.

Отметим одну тонкость, имеющую принципиальное значение. Обычно вероятностные характеристики вводятся для предсказаний, они могут быть опровергнуты или подтверждены и уточнены. Вероятностные характеристики, используемые при построении ретроспективных систем, навсегда останутся гипотетическими, поэтому, может быть, придется говорить в этом случае не просто о вероятности, а о гипотетической вероятности.

Хотя истинный способ образования некоторого изучаемого объекта, понятно, не может меняться с течением времени, наши представления об его образовании могут меняться, причем меняться таким образом, что на одном уровне изученности наиболее обоснованной будет одна из гипотез, а на другом — прямо противоположная. В качестве примера можно привести эволюцию гипотез об условиях образования флиша.

Во флишевых ритмах, особенно в их нижних членах, наблюдаются характерные признаки, с достаточно большой вероятностью указывающие на образование в условиях относительного мелководья (по крайней мере не глубже нижней сублиторали) — многочисленные растительные остатки, остатки толстостенных раковин сублиторальных моллюсков, грубообломочный состав породы и т. д. Различные теории флишеобразования, отличаясь друг от друга по реконструкциям процессов образования градационной слоистости, указывали на мелководные условия бассейнов флишенакпления. Предположение об абиссальном и даже ультраабиссальном происхождении флиша вполне объективно можно было считать в то время совершенно невероятным, так как наблюдения об образовании в столь глубоководных условиях характерных признаков флиша отсутствовали. Но в последние годы, в связи с выполнением обширной программы глубоководных океанологических исследований, было обнаружено присутствие на дне и на склонах глубоководных желобов отложений со многими характерными признаками флиша — градационной слоистостью, мелководными органическими остатками, грубообломочным составом нижних частей ритмов. По мере накопления таких наблюдений гипотетическая вероятность абиссального флишеобразования, естественно, все возрастала и возрастала. В настоящее время наиболее признанной может считаться именно эта точка зрения. В данном случае можно утверждать, что одни гипотезы (о мелководном флишеобразовании) сменились диаметрально противоположными (о глубоководном флишеобразовании), причем каждая из этих гипотез для своего времени может быть вполне объективно признана наиболее обоснованной. Подобная метаморфоза может постигнуть и любую другую генетическую реконструкцию. Это, в частности, относится к смене представлений о ведущей роли горизонтальных и вертикальных движений земной коры, фиксизма и мобилизма, органического и неорганического происхождения нефти и т. д.

Одной из важнейших задач ретроспективных реконструкций генетического типа является реконструкция условий образования горных пород, или, иными словами, **ф а ц и а л ь н ы х у с л о в и й**.

Под **ф а ц и а л ь н ы м и п р и з н а к а м и** понимаются признаки вещества — петрографические, биостратиграфические, химические и т. д., определяющие условия отложения и диагенеза осадков. Понятие это в такой формулировке применяется к осадочной толще, но его можно расширить, понимая под фацией совокупность признаков вещества, определяющих его генезис. Под **ф а ц и е й** (для осадочных пород) понимается также совокупность физико-географических условий (обстановки) отложения и диагенеза осадков. В отношении изверженных пород можно говорить об абиссальных и гипабиссальных фациях. По отношению к метаморфическим породам можно говорить об амфиболитовой, эпидот-амфиболитовой, эклогитовой и других фациях [68], соответствующих тем или иным термодинамическим условиям протекания процесса метаморфизма.

Таким образом, в обобщенном смысле фацией обозначаются условия (обстановка) образования вещества (осадочного, магматического, метаморфического) и совокупность признаков, определяющих эти условия. При необходимости уточнения, о чем именно идет речь, можно говорить о фаціальных признаках и фаціальных условиях.

Введение в геологию обобщенного понятия о фации представляется необходимым в интересах создания общего языка для специалистов, работающих в области осадочных, изверженных и метаморфических пород.

В геологической литературе встречается и иное значение термина «фация». Так, весьма часто под фацией понимается горная порода или совокупность горных пород определенного типа (вещественная ассоциация). Такое понимание фации представляется неприемлемым, так как термин «фация» здесь выступает как излишний синоним геологического тела.

В соответствии с принимаемым нами определением по отношению к осадочным породам можно говорить о фациях в палеогеографическом смысле — морских, континентальных, лагунных фациях, фациях дельт, мелководья и т. д.; по отношению к тем же самым породам можно говорить также о геохимических фациях [132], т. е. условиях образования, существования и разрушения осадков, выделяющихся по характерному химическому признаку (или по гидрохимическим особенностям вод бассейна отложения, или по образованию характерного минерала). Такими фациями, по Г. И. Бушинскому [33], могут быть щелочная восстановительная, щелочная окислительная, кислая восстановительная, кислая окислительная; по Г. И. Теодоровичу [154], по величинам рН и Н выделяются 13 субквальных геохимических фаций. Можно выделять среди осадочных пород фации и по иным генетическим характеристикам, например по глубине бассейна осадкообразования (мелководные, глубоководные), по температуре воды этого бассейна, солености и т. д. Названия минералов и пород в названиях фаций следует рассматривать не как характеристику состава, а как г е н е т и ч е с к и е и н д е к с ы. Генетические индексы нашли отражение в таких названиях фаций, как «фация фузулиновых известняков», «фация штаффеловых известняков». В данном случае входящие в название фаций названия организмов характеризуют условия образования осадочного вещества. Можно говорить по этой же причине о сидеритовой, шамозитовой [132] и других геохимических фациях. Неправильно именовать фации по тем или иным признакам вещества, которые не определяют его генезиса. Например, не все минералы, входящие в породу, могут рассматриваться как индексы фаций или генетические индексы; минералы, образующие зерна (обломки), принесенные издалека, могут не иметь никакого отношения к обстановке накопления осадка или его диагенеза; очевидно, пригодны в качестве индексов фаций минералы аутигенные и эпигенетические. В равной мере фации могут характеризовать главным образом те остатки растительных и животных организмов, для которых участок

формирования данной породы был средой обитания, и в значительно меньшей степени остатки тех организмов, для которых данная порода являлась лишь местом захоронения. Нельзя говорить о песчаной, глинистой, известняковой и т. п. фациях. Так называемая «песчаная фация» может быть свойственна пустынным, русловым, дельтовым, прибрежным и даже глубоководным условиям образования исходного осадка. Введение таких невыразительных названий скрывает различие между фацией и веществом, тогда как фацию в принятом здесь понимании термина нельзя приравнять к веществу (совокупности свойств вещества).

Американские стратиграфы [65, 94] из литологических свойств вещества осадочной толщи выводят близкое к фации понятие *литотоп* как участка земной поверхности, на котором накопление осадков происходило при постоянных условиях в специфической обстановке, или как объемов однородных осадков (вещества, охарактеризованного его литологическими свойствами), образованных в определенных специфических условиях осадконакопления; в другом понимании литотоп — горная порода, образующаяся в определенных условиях.

Под *биотопами* понимают участки, заселенные однородными сообществами организмов, приспособившихся к окружающей обстановке; каждому биотопу соответствует особый биоценоз, элементы которого ограничены экологическими факторами, что позволяет установить по биоценозу обстановку осадконакопления для данного биотопа. Биотоп — среда обитания фауны, флоры и биоты.

Аналогичным образом выводятся понятия *литофаций* и *биофаций*, т. е. литологического и биологического компонентов обстановки осадконакопления. Литофации не могут считаться фациями в принятом нами смысле. Возможность оперирования литофациями в генетическом смысле опровергают даже широко пропагандирующие это понятие В. Крумбейн и Л. Слосс [94] введением представления о «неспецифических литотопах». «В большинстве случаев не представляется возможным, — пишут они, — установление фациальных значений каждого варианта литотопа. В таких обычно встречающихся ситуациях литотопы выделяются и именуются на основании наблюдаемых литологических особенностей, не требующих ссылки на специфическую обстановку осадкообразования. Таким образом, неспецифические характеристики могут быть выражены соответственно литологической терминологией и могут быть составлены карты нехарактерных литофаций» [94, стр. 212]. Очевидно, что такие карты представляют собой просто литологические карты, никакого отношения к фациям в принятом нами смысле не имеющие. Подобным же образом для случаев, когда «биологические комплексы не могут быть выражены при помощи фациальной терминологии» [94, стр. 227]. В. Крумбейн и Л. Слосс вводят понятия «неспецифические биотопы» и «неспецифические биофации».

Путем суммирования частных «топов» (биотоп, литотоп и т. д.) и частных «фаций» нельзя получить достаточно полную фациальную

характеристику вещества. В осадочной толще нам может быть известно распределение значений нескольких свойств вещества. Однако значения первого свойства могут характеризовать генезис вещества лишь в некоторых точках, в других точках они его не характеризуют, являясь «неспецифичными». Так же обстоит дело со значением второго и других свойств. Таким образом, по каждому отдельному свойству «поле генетических характеристик», которое может быть изображено, например, в виде карт частных «фаций», будет охарактеризовано неполно. Суммирование (наложение) таких карт дает также неполную его характеристику, так как, с одной стороны, каждая точка, для которой найдена генетическая характеристика, будет охарактеризована в этом отношении лишь по одному свойству вещества, с другой стороны, на этой карте не найдут отражения те генетические характеристики, которые могут быть построены не по одному свойству, а только по той или иной их совокупности. Отсюда следует, что вопрос о генезисе вещества и его принадлежности к той или иной фации надо решать путем анализа совокупности его свойств, которая может оказаться «специфичной» там, где отдельные свойства или менее полная их совокупность будет «неспецифичной».

Методика построения генетической характеристики по совокупности свойств вещества осадочной толщи, иными словами, методика фациального анализа разработана недостаточно и введение понятий «литофация», «биофация», «тектофация» и т. д. связано с поисками иных путей для решения этого вопроса. Поскольку понятие «фация» должно носить обобщенный характер в применении к осадочным, изверженным и метаморфическим породам, необходимо разработать общие принципы выделения фаций, фациальных зон и т. д. Таким условиям, по-видимому, отвечает схема классификации минералов и минеральных ассоциаций, рассматриваемых в качестве признаков фаций метаморфических пород [68]. В этой схеме выделяются четыре категории минералов и минеральных ассоциаций: 1) «специфические» — невозможные во всех других фациях, кроме данной; 2) «запрещенные» — невозможные в данной фации (могут быть невозможными и в других фациях); 3) «обычные» — не специфические парагенезисы, возможные при *PT*-условиях данной фации в широком поле составов метаморфических пород; среди них сквозные, т. е. «обычные» для двух или нескольких фаций, и характерные, т. е. обычные только для данной фации (но в редких случаях возможные и в других фациях); 4) «экзотические» — не специфические парагенезисы, возможные при *PT*-условиях данной фации лишь в узком поле составов метаморфических пород.

«Очевидно, однозначное решение (положительное или отрицательное), — пишут Н. Л. Добрецов и его соавторы [68, стр. 10], — может быть получено при определении фациальной принадлежности какой-либо толщи метаморфических пород только при наличии минералов и парагенезисов первых двух категорий, тогда как ассоциации третьей и четвертой категорий могут дать суждение об их принадлеж-

ности к той же или иной фации лишь с определенной степенью вероятности».

Выделение «специфических», «запрещенных» и других признаков, по-видимому, вполне применимо для диагностики фаций в метаморфических породах. Однако более сложная обстановка формирования осадочных пород требует использования более сложных систем признаков. Так, для характеристики фаций осадочных пород необходимо выделять ассоциации терригенных и аутигенных минералов отдельно, ассоциации остатков организмов, а также разнообразных структурных признаков (окатанность зерен, знаки ряби, ходы илюдов и т. д.).

Фации могут обладать областями распространения, которые удобно называть фациальными зонами (в двумерном случае) или фациальными телами (в трехмерном случае). Таким образом, в принципе возможно выделение геологических тел и, следовательно, проведение геологического районирования по генетическим признакам (например, фациальные карты, палеогеографические карты). При этом необходимо иметь в виду, что эти признаки не могут непосредственно наблюдаться, а значит, они не могут быть измерены. Признаки эти всегда являются реконструированными и выведенными по аналогии. Поэтому, если карты, построенные на основе вещественных признаков (геологические, тектонические, литологические и другие карты), могут изменяться с детальностью и точностью измерений их значений, то карты, основанные на генетических признаках, могут существенно изменяться за счет изменения генетических трактовок этих вещественных признаков на основании различных их сопоставлений с результатами современных природных или экспериментальных геологических процессов. Фациальные зоны (тела) являются условными геологическими телами третьего типа. Сопоставление фациальных зон с безусловными геологическими телами позволяет дать фациальную характеристику последних. Например, можно дать характеристику слоя как монофациального или полифациального, а также выделять различные фациальные зоны в пределах любого геологического тела.

Часто устанавливаемое совпадение границ фациальных зон, построенных по генетическим характеристикам, может создать впечатление, что сами эти тела выделены по генетическим признакам. Это обстоятельство в ряде случаев приводит к смешению вещественных и генетических признаков и неправильному построению процедуры выделения геологических тел.

Вопрос об оценке достоверности генетических реконструкций может быть решен пока только в качественном смысле. При реконструкции условий образования прибегают к генетическому истолкованию вещественного состава. При этом для сравнения по аналогии некоторых захороненных в толщах горных пород вещественных образований, рассматриваемых как фациальные признаки, используют результаты современных природных или экспериментальных процессов. Однако по этим результатам можно судить не только

об условиях (обстановках) образования горных пород (полезных ископаемых и т. д.), обладающих данным фаціальным признаком, но и о самих процессах их образования. Суждение о процессах геологического прошлого также вытекает из аналогии с современными процессами. Если в толщах пород наблюдаются вещественные образования, соответствующие лишь конечной стадии процесса, то по аналогии можно судить лишь о существовании процесса. Если же эти вещественные образования различны и их можно сопоставить с несколькими стадиями природного процесса, то можно судить о ходе геологического процесса прошлого.

Реконструкции историко-геологического типа

На основании, с одной стороны, реконструкций геологического времени, с другой стороны, ретроспективных реконструкций обстановок и процессов геологического прошлого можно осуществлять ретроспективные реконструкции историко-геологического типа. Для этого рода построений реконструкции генетического типа (обстановок и процессов) приводятся в соответствии с точками или отрезками хроностратиграфической шкалы, т. е. как бы нанизываются на ось геологического времени.

Чем разнообразнее набор реконструкций генетического типа и чем детальнее охарактеризована ими хроностратиграфическая шкала, тем полнее может быть представлена геологическая история. Под разнообразием реконструкций здесь следует понимать множество различных обстановок и процессов, которые реконструируются для данной точки (отрезка) хроностратиграфической шкалы. Например, если реконструируется только процесс образования осадочных пород, то генетическая характеристика, отнесенная к данной точке (отрезку) хроностратиграфической шкалы, будет односторонней. Если же реконструируются, кроме того, условия формирования магматических тел, обстановки и процессы метаморфизма, условия обитания и развития фауны и флоры, процессы формирования месторождений полезных ископаемых и т. д., то такая характеристика будет более полной и разносторонней. Под детальностью историко-геологических реконструкций надо понимать густоту точек хроностратиграфической шкалы (оси геологического времени), охарактеризованных ретроспективными реконструкциями генетического типа. Например, историко-геологические реконструкции меловой системы благодаря тому, что они могут быть отнесены к отдельным векам или даже временам (зонам) хроностратиграфической шкалы, являются значительно более детальными, чем докембрия.

Историко-геологические реконструкции отражают общую картину смены обстановок и процессов в ходе геологического времени. Если смена обстановок и процессов вдоль оси времени не беспорядочна, а в ней проявляются определенные тенденции, то можно говорить об эволюции геологических процессов, точнее о ретроспективных реконструкциях такой эволюции.

Реконструкции тектонических движений

Реконструкции тектонических движений представляют одну из сторон или разновидность реконструкций историко-геологического типа. Реконструкции тектонических движений обладают, однако своей специфичностью.

Тектоническими движениями мы будем называть перемещения масс, включающие движения земной поверхности. Все методы непосредственного измерения и реконструкций тектонических движений заключаются в измерениях и реконструкциях движений земной поверхности. Если и существуют глубинные перемещения масс, которые не сопровождаются движениями земной поверхности, то их мы не можем ни измерять, ни реконструировать, а следовательно, и сравнивать с тектоническими движениями или классифицировать наряду с ними. Поэтому причисление гипотетических скрытых движений к тектоническим движениям препятствовало бы полноте изучения, а также реконструирования последних.

Среди тектонических движений обычно различаются по хронологическому признаку современные движения, новейшие (молодые) движения и движения геологического прошлого. Соответствующие им интервалы геологического времени далеко не соразмерны. Длительность проявления современных движений может исчисляться тысячами лет, новейших движений — миллионами лет, а движений геологического прошлого — миллиардами лет.

Между этапами проявления движений перечисленных трех категорий нет определенных хронологических границ; эти этапы могут в значительной степени перекрывать друг друга. Хронологический признак, отраженный в названиях категорий движений, очень приблизительно отражает их хронологическую последовательность и в очень малой степени их природу. Наиболее существенные отличия этих категорий движений заключаются в различных методах их исследования.

Непосредственным измерениям доступны лишь современные движения, вернее, те движения, которые доступны непосредственным измерениям и называются часто современными движениями. Заметим, что, говоря о непосредственных измерениях, мы имеем в виду не личные возможности одного исследователя, а возможности ряда последовательных поколений, т. е. исторический этап. Не следует смущаться тем обстоятельством, что охарактеризованный архитектурными и литературными памятниками исторический этап в разных районах Земли имел различную продолжительность, и, таким образом, нижняя возрастная граница времени проявления современных движений не является синхронной для всей поверхности Земли.

Самым важным признаком современных движений нам представляется не их хронологическая приуроченность, а их доступность непосредственным измерениям. Все остальные (не современные в приведенном смысле) тектонические движения лишь реконструируются нами по тем или иным косвенным признакам. Узнать же, какова

в самом деле их кинематическая характеристика, мы можем только на примере современных движений и по аналогии с ними. Современные движения в принятом нами смысле это те движения, которые оказалось возможным непосредственно изучать и измерять с тем, чтобы использовать полученные данные, в частности для истолкования различных структурных признаков в толщах осадочной оболочки для реконструкции движений геологического прошлого. Современные движения, следовательно, являются в физическом смысле неотъемлемой частью движений, происходивших на протяжении значительно более длительного интервала времени, чем эпохи цивилизаций, движений, создавших основные черты современного рельефа Земли.

Такие движения обычно называют новейшими или неотектоническими. Для них характерна связь с формированием современного рельефа. Этим определяется и то, что основными методами реконструкции новейших движений является геоморфологические методы. Неотектонические движения (если не считать их «современной» части) не могут непосредственно наблюдаться или измеряться. Наблюдаются лишь их результаты, точнее — структурные особенности рельефа, которые истолковываются как их результаты.

Использование для реконструкции новейших движений таких явлений, как поднятия и изгибы речных террас и поверхностей выравнивания, различие падений вдоль продольных профилей рек, положение местных базисов эрозии, положение береговых линий и т. д., существенно облегчается тем, что многие из этих явлений происходили в историческое время и могли быть проконтролированы непосредственными наблюдениями. Думается, что нет особого смысла для движений, создавших основные черты современного рельефа, вводить возрастные ограничения. Действительно, признавая их связь с современным рельефом, мы тем самым определяем и их длительность и их распространенность. Эти движения совершенно обязательно должны были начаться одновременно. Они входили в состав более общих длительных движений геологического прошлого, так же как современные движения являются лишь неотъемлемой и неотличимой частью новейших движений. Дело просто в том, что наблюдаемый современный рельеф Земли благодаря своим структурным особенностям позволяет нам реконструировать одновременные с его формированием относительно молодые тектонические движения с большей достоверностью, чем мы этого можем достичь в отношении движений, происходивших до формирования современного рельефа.

Что же касается хронологических рубрикаций тектонических движений, то они могут быть выбраны любые в зависимости от цели исследований. Могут, например, рассматриваться движения четвертичного периода, движения четвертичного периода и плиоцена, движения кайнозоя и т. д. Для поставленных целей, когда новейшие тектонические движения рассматриваются как процесс, имеющий

определенную физическую характеристику, ни один из этих вариантов не представил бы преимуществ. Наоборот, каждый из них был бы неудобен, так как навязывал бы искусственные временные ограничения для наших исследований.

Неотектонические движения изучаются (реконструируются) геоморфологическими методами, наиболее надежными для них, а также и другими, в частности геологическими методами, имеющими в данном случае второстепенное, подсобное, значение. Соотношения геоморфологических и геологических методов в изучении новейших движений можно представить следующим образом. Реконструируя на основе использования геоморфологических методов процесс формирования некоторой положительной формы рельефа и восстанавливая ход восходящих тектонических движений, которым обязан этот процесс, мы замечаем, что в смежных районах, где скорость и амплитуда восходящих движений убывают, или восходящих движений вообще нет, или они сменяются нисходящими, происходит накопление осадков (подножия склонов, аллювиальные долины, предгорные впадины, шельф континента). Оказывается, что при движении от областей восходящих движений к районам нисходящих движений наблюдаются, как правило, увеличение мощностей осадков (иногда, наоборот, их уменьшение, как, например, для галечников отложений подножия гор) и характерные изменения их вещественного (гранулометрического, минералогического) состава, а часто и палеонтологической характеристики. Параллельное изучение геоморфологических особенностей поднимающегося района и состава толщ осадков, формирующихся в прилегающих областях относительного опускания, позволяют связывать строение толщ осадков с тектоническими движениями и устанавливать некоторые закономерности.

Если мы обратимся ко времени, предшествующему формированию современного рельефа, т. е. ко времени, когда существовал свой рельеф, ныне уже уничтоженный, то окажется, что для реконструкции тектонических движений этого времени в нашем распоряжении останутся только одни геологические методы. Под геологическими методами мы будем понимать все методы реконструкции движений, связанные с изучением толщ, слоев, отложений, входящих в осадочную оболочку. Для неотектонических движений эти методы не являются основными, хотя они и существенны.

Сравним две основные группы методов реконструкции тектонических движений: геоморфологических и геологических. Эти группы методов, наиболее принятые соответственно для изучения новейших и древних движений, применяются в полной совокупности только для изучения новейших движений. Новейшие движения являются тем «мостом», который нам позволяет при реконструкции движений геологического прошлого учитывать опыт человека по наблюдениям этих движений как физическое явление. Без этого опыта нельзя было бы на основании наблюдений над разрезами и структурами судить о тектонических движениях геологического прошлого. Отмеченная выше неопределенность ведет к возможности высказывания

различных вероятных вариантов «кинематической» интерпретации разрезов и структур. Это обстоятельство делает крайне неопределенными и условными многие высказывания о темпе, периодичности, распространенности и других свойствах тектонических движений.

Опыт изучения новейших движений представляет особый методический интерес и должен быть, возможно, полнее использован в реконструкции тектонических движений и режимов геологического прошлого.

1. Геоморфологические методы, применимые к движениям, создавшим современный рельеф, обычно позволяют реконструировать лишь вертикальную компоненту движения, за исключением случаев геоморфологически выраженных сдвиговых дислокаций. Скорость движения определяется в среднем по результату (размерам) перемещения для некоторого интервала времени, установленного стратиграфическими методами. Такие определенные значения скоростей могут быть очень далеки от величин физических скоростей тектонических движений. Для тектонических движений эпохи цивилизации результаты геоморфологических методов могут контролироваться непосредственными измерениями. Такой контроль определяет степень надежности геоморфологических методов для изучения тектонических движений более ранних эпох формирования современного рельефа. Горизонтальная компонента неотектонических движений обычно не учитывается, так как, например, для платформенных областей не разработаны способы ее выявления и измерения. В горных местностях удается проследить неотектонические сдвиги вдоль разломов по смещению элементов рельефа и тел однородных молодых отложений. Для зоны Талассо-Ферганского разлома по смещению русел рек определена величина сдвига в 12—14 км [134]. С. А. Захаров [76] описывает в предгорьях Гиссарского хребта три блока, ограниченных вертикальными сбросами, по которым средний блок смещен в горизонтальном направлении относительно северного на 10—12 км, а южный — на 15—20 км. Неотектонические сдвиги со смещением элементов рельефа могут прослеживаться путем дешифрирования аэрофотоснимков.

2. Геологические методы, применяемые при реконструкции тектонических движений геологического прошлого, т. е. движений, не нашедших отражения в современном рельефе, заключаются в изучении отложений. Распределение мощностей и фациальных типов пород в слое (пачке, толще), кровля и подошва которого определена стратиграфическими методами, может в некоторых случаях служить основой для суждений о величинах перемещений. Однако распределение мощностей и фаций в значительной степени определяется палеогеографическими факторами (климат, рельеф, течения и т. д.). Так, мы можем представить себе стационарный водоем, в котором распределение осадков (пород, слоев, фаций) определяется характером берегов, размещением устьев рек, течениями, климатом без участия тектонических движений. В равной мере можно представить себе горную страну, в которой распределение отложений обусловлено

формами рельефа; у подножия гор и в межгорных впадинах могут накапливаться мощные галечники, толщи пролювиальных отложений и т. д., мощности их могут по простиранию быстро меняться, быстро может происходить смена по вертикали и латерали слоев и пачек различного литологического состава. Слоистые толщи могут иметь в таких условиях значительные первичные наклоны; оползни могут в еще большей степени усложнять структуру этих толщ. Таким образом, можно представить себе сложную картину изменения мощностей и распределения фациальных типов отложений без участия тектонических движений. Имея в виду, что геологическими телами и их пространственными взаимоотношениями определяется геологическая (тектоническая) структура, мы должны будем признать, что тектоническая структура в принципе может формироваться без участия тектонических движений. Отсюда вытекает, что тектоническая структура, на основе которой и при использовании принципа последовательности напластования всегда можно определять последовательность событий и осуществлять историко-геологические реконструкции, далеко не всегда может служить основой для реконструкции тектонических движений. Следует поставить под сомнение возможность однозначных, а следовательно, и точных реконструкций тектонических движений по тектонической структуре. Тем более нельзя, например, на основании изучения слоистости утверждать, как это делает А. М. Кузьмин [95], что погружение в геосинклинали совершается «непрерывно-прерывисто и периодически ритмично». Само это утверждение, может быть, и соответствует истине, но оно может вытекать лишь из данных изучения современных движений, но никак не из изучения слоистости.

Приведенные нами примеры со стационарным водоемом и стационарной горной страной идеализированы. Изучение современных движений показало, что любая точка земной поверхности находится в непрерывном движении; принцип актуализма вполне позволяет перенести это общее свойство земной поверхности на ее прошлое. Следовательно, стационарных участков земной поверхности не существовало, и в любом случае тектонические движения участвовали в образовании тектонической структуры, но их роль могла быть как определяющей, так и второстепенной. Можно сказать, что реконструкция тектонических движений является очень сложной и трудной задачей. Знания структуры (последовательность слоев, латеральные изменения мощностей и т. д.) здесь недостаточно. Необходимы тщательные фациальные реконструкции, позволяющие судить об особенностях палеогеографической обстановки и ее роли в формировании структуры. На различных участках земной поверхности формирование отложений в различной степени определялось палеогеографической обстановкой (палеогеографический фактор) и тектоническими движениями (тектонический фактор). В одних районах доминировал палеогеографический, в других тектонический фактор. В первых районах реконструкция тектонических движений очень сложна, а в некоторых случаях невыполнима, во вторых районах

реконструкция тектонических движений может быть более достоверней. Думается поэтому, что для реконструкции и изучения тектонических движений прошлого следует выбирать районы, где в формировании осадочной толщи доминировал тектонический фактор, т. е. районы, где роль палеогеографического фактора была относительно невелика. Выбираться должны районы, где формирование осадков на значительной территории и длительно происходило на уровнях, близких к уровню моря. В таких условиях поднятия крупных областей, сводов или частных антиклинальных складок приводят к поднятиям морского дна и возникновению и развитию положительных форм рельефа на низменной суше, прогибания же вызывают образование обширных депрессий, бассейнов, впадин различных масштабов, в которых обычно происходит более интенсивное накопление осадков, чем на прилежащих к ним частях поднятий.

То же происходит при движении по сбросам и флексурам. Поднятое крыло сброса (флексуры), выдвигаясь в своем относительном перемещении вверх, обуславливает поднятую ступень в рельефе, отделенную уступом от пониженной ступени, соответствующей опущенному крылу сброса (флексуры). Одинаковый (или близкий) батиметрический уровень формирования осадков указывает, что прогибания быстро компенсируются осадконакоплением. Компенсирование прогибания осадконакоплением является важным условием, определяющим возможность реконструкции тектонических движений прошлого.

Движения земной поверхности, находящиеся в причинной связи с тектоническими движениями и выражающиеся в развитии положительных и отрицательных форм рельефа суши и морского дна, оказывают влияние на распределение осадков, изменение их мощностей и литологические особенности. По связанным с тектоническими формами изменениям литологического состава и мощности осадочных толщ и слоев судят об одновременности и длительности тектонических движений и осадкообразования. Выяснение же закономерностей распределения во времени и пространстве осадков различных фациальных типов и их мощностей является основой выяснения особенностей тектонических движений.

В районах с компенсирующимся тектоническим рельефом и преобладанием тектонического фактора в формировании структуры осадочной толщи возможно на основе анализа мощностей с учетом фациальных изменений, анализа перерывов и т. д. реконструировать особенности развития тектонических форм. Для тектонических форм высших порядков, т. е. небольших по размерам тектонических форм или так называемых «локальных структур», метод мощностей применяется обычно самостоятельно, без анализа фаций, поскольку фациальные изменения в пределах такой формы могут быть очень незначительны. Однако и при исследовании небольших структурных форм очень важно картину распределения мощностей дополнять данными о фациальных и литологических изменениях отдельных горизонтов.

При исследовании же крупных областей данные по распределению мощностей необходимо увязывать с фациальными данными и данными,

полученными при изучении перерывов и несогласий ввиду значительности фациальных изменений, коренного их значения для выяснения особенностей развития структуры и взаимосвязи фациального состава слоев и их мощностей. Анализ мощностей и анализ фаций в реконструкции тектонических движений геологического прошлого неотделимы друг от друга.

При фациальном анализе следует критически относиться к идеализированной и достаточно широко распространенной схеме расположения осадков относительно береговой линии (например, конгломераты — песок—глины—известняки). Необходимо возможно полнее учитывать конкретные условия и особенности осадконакопления, которые не были известны до осуществления широких программ изучения океанов, как, например, отложения мутьевых потоков с накоплениями грубых песков и другого материала прибрежного происхождения [растительные обломки, мелководные фораминиферы на больших глубинах (3 км и более) на огромном удалении от берега].

Важно уяснить себе роль изучения мощностей и фаций при реконструкции и исследовании тектонических движений. Мощности имеют размеры и тем самым вносятся элементы метрики в изучение движений. Не измерив мощностей, о величинах перемещений никак судить нельзя. Вместе с тем мощности могут соответствовать размерам перемещений, могут быть больше или меньше их, и, наконец, могут быть совершенно независимыми от перемещений. Фациальные данные (напомним, что фации не наблюдаются, а реконструируются и что такие реконструкции необязательно однозначны и что эта неоднозначность сказывается в конечном счете на качестве реконструкции тектонических движений) позволяют нам оценить возможность использования мощностей для реконструкции тектонических движений. Без данных о фациях мы не в состоянии оценить метрическое значение величин мощностей. С другой стороны, фациальные данные сами по себе не могут ничего дать для метрической характеристики движений. Если для какого-либо района (толщи) фациальные данные однородны (в том смысле, что указывают на одинаковый и неизменный уровень формирования осадков) и определены (в том смысле, что указывают на этот уровень с точностью, которая будет сочтена достаточной для определения скорости движения), то мощность может быть принята как мера перемещений при тектонических движениях. При этом, конечно, обязательна хроностратиграфическая коррелируемость нижнего и верхнего пределов (например, подошвы и кровли слоя, пачки и т. п.) используемого интервала мощностей. Степень точности хроностратиграфической отбивки и корреляции должна отвечать точности, предъявляемой к измерению движений.

Тектонический анализ мощностей и фаций является методом, используемым в тектонике для восстановления на основе данных о составе, размещении и соотношениях геологических тел картины роста (или изменения) тектонических форм и ходе тектонических движений. Знание устанавливаемых этим анализом связей между фациальными типами отложений и тектоническими формами может

быть использовано для структурных построений и поисков полезных ископаемых. Действительно, предположим, что нами изучена в геометрическом отношении некоторая структурная форма, в строении которой участвует интересующая нас толща (стратиграфический горизонт), содержащая полезные ископаемые; допустим, что данные о составе и фациальных типах отложений, слагающих эту толщу, крайне ограничены (несколько обнажений или скважин) и совершенно недостаточны для составления таких фациальных или литологических карт или профильных разрезов, по которым можно было ориентировать разведочные работы. Однако, зная закономерные связи между тектоническими формами и распределением типов осадков, мы можем построить в качестве прогнозных моделей гипотетические карты и разрезы, указать на них области вероятного распространения интересующих нас фациальных типов и, проверяя построения бурением или другого рода разведочными работами, мы можем существенно развить наши неполные представления о структуре и ориентировать поиски полезных ископаемых. Как и в более общем случае историко-геологических реконструкций, реконструкции тектонических движений помогают ориентировать работы по изучению геологической структуры, существенно дополняя таким путем изучение пространственных взаимоотношений геологических тел, и уточнять представления о размещении полезных ископаемых.

Заключение

Фундаментом геологических знаний являются наблюдения над природными геологическими объектами, обстановками и процессами. Для построения теории и достижения практических целей эти данные должны быть осмыслены и систематизированы. Далее должен быть выяснен путь построения теорий, устанавливающих закономерности геологического развития во времени и происхождения горных пород, геологических формаций, тектонических дислокаций, залежей полезных ископаемых и других геологических объектов. Вековая практика поисков полезных ископаемых на научной основе показывает, что историко-геологические и генетические концепции с успехом могут быть использованы для решения практических задач. Очевидно, для этого нужно иметь возможность оценивать вероятность и достоверность утверждений, вытекающих из этих концепций, и располагать представлениями о путях их использования.

Именно вопрос о том, как правильнее идти от наблюдений к теории и практике, в основном и занимал автора в процессе написания данной книги. Естественно, что вопрос «к а к?» это вопрос методический, с чем и связана направленность изложения.

Мир геологических явлений сложен и многообразен. В его описаниях фигурируют вещество (например, горные породы), геологические тела (слои), геологическое время, геологические процессы настоящего и прошлого. Для того чтобы рассмотреть элементы этого многообразия в их последовательности и связях, необходимо прежде всего отделить то, что поддается наблюдениям и измерениям, от того, что лежит в сфере умозаключений и логических конструкций. Умозаключения и логические конструкции ведут нас к абстракциям, необходимым в любом научном познании. Эти абстракции являются лишь временными отвлечениями от реальной природы. Они, будучи правильно построенными, могут способствовать более полному осмысливанию сложного реального геологического мира и приводить нас к смелым и далеко идущим практическим решениям. Сознание необходимости такого отделения приводит нас к системному подходу в геологических исследованиях, который служит канвой для разработки вопросов методологии и логики научного геологического познания. Так, системный подход позволяет прежде всего выделить системы, имеющие оригинал, модели которых всегда могут быть проверены на этом оригинале, и системы не имеющие оригинала, оценка моделей которых может быть основана только на непротиворечивости с оригиналами систем первого типа. Исследования каждого класса систем (статических, динамических, ретроспективных)

являются самостоятельными и специфическими по принципам и методам, а также по использованному в этих исследованиях представлению о времени (фиксированное, физическое, логическое). Поэтому исследования в пределах систем различных классов могут казаться независимыми и изолированными, тогда как исследования всех трех классов систем служат единой цели и должны быть в соответствии с этим организованы. Эта задача выполняется путем построения методологических систем, определяющих место систем каждого класса в использовании данных наблюдений для построения теорий и достижения практических целей. Важно еще раз подчеркнуть, что ретроспективные системы всегда являются лишь конструктами, основанными на аналогии. Они могут быть неоднозначными, а концепции, связанные с этими системами, могут меняться даже на диаметрально противоположные в результате накопления принципиально новых данных наблюдения в статических системах и характера используемых в построениях моделей природных или экспериментальных процессов.

Затронутые в книге вопросы нуждаются в дальнейшей всесторонней разработке. Так, одной из основных задач должно стать упорядочение терминологии на основе совершенствования систем понятий в пределах каждого выделенного класса систем. Создание и совершенствование научных языков безусловно приведет к повышению эффективности и экономичности геологических, в частности тектонических, исследований и созданию условий для более широкого использования математических методов. В качестве другой задачи может быть названа разработка теории геологической структуры и принципов тектонического картирования. Для этого необходимо совершенствование представлений как о теоретическом геологическом статическом пространстве, так и о специализированных пространствах; изучение каждого из которых требует специального научного языка и специфических методов исследования.

В данной монографии рассматривались лишь общие построения в теоретическом геологическом пространстве. Однако каждое специализированное пространство может требовать особого научного подхода. Действительно, возьмем пространство петрографической специализации. В принципе может быть проведена такая элементаризация этого пространства, при которой каждый структурный элемент обладает определенными петрографическими свойствами и может быть охарактеризован, например, названием горной породы или списком горных пород. Очевидно, для полноценного описания такого пространства должна быть разработана достаточно строгая классификация горных пород. Другой характер может иметь биостратиграфическое пространство (универсальное или специализированное по какому-либо семейству, роду или виду ископаемой фауны или флоры). В таком пространстве могут присутствовать «немые» толщи или участки. При элементаризации биостратиграфического пространства, при недостаточности точек, охарактеризованных собственными признаками, широко используются в качестве подсобных

петрографические границы, истолковываемые в биостратиграфическом смысле. Это различие между пространством петрографической и биостратиграфической специализации должно сказаться при конструировании структур этих специализаций и в различных методиках описания. Совершенствование и специализация процедур выделения и описания геологических границ, геологических тел и геологических структур должно послужить основой разработки принципов тектонического районирования, и создания тектонических карт, наиболее отвечающих своей основной задаче — выяснению закономерностей размещения полезных ископаемых.

Следующая задача связана с ретроспективными реконструкциями. Весьма важным представляется вопрос оценки истинности ретроспективных реконструкций. Критерием истинности, естественно, должна быть практическая проверка. Иными словами, ретроспективная концепция должна не только объяснять ситуацию, которую мы наблюдаем в статическом геологическом пространстве, но и предсказывать также черты структуры и состава этого пространства, которые нам пока неизвестны и которые мы пока не наблюдали. Проверка этих предсказаний и является проверкой истинности ретроспективных реконструкций. В частном и наиболее важном случае на основе ретроспективных реконструкций судят о вероятном размещении полезных ископаемых, что помогает ориентировать поисково-разведочные работы.

Нельзя высказываться об истинности ретроспективных реконструкций, которые только объясняют, но ничего не предсказывают. Отметим, что истинность предсказывающих ретроспективных концепций является относительной. Ретроспективные концепции могут существенно изменяться, как это отмечалось ранее.

Сказанным далеко не исчерпывается перечень задач, связанных с совершенствованием методологии геологических построений. Представляется совершенно несомненным, что наступило время для самой решительной и энергичной работы в этом направлении в связи с переносом центра тяжести геологических исследований с поверхностных слоев континентов в глубинные недра Земли и океанические пространства.

Список литературы

1. А ж г и р е й Г. Д. Структурная геология. М., Изд-во Моск. ун-та, 1956, 494 с.
2. А н д р е е в В. П., Б р о д о в о й В. В., Г о л ь д ш м и д т В. И. и др. Размещение основных разломов земной коры в Казахстане и связь с ними ареалов интрузивного магматизма. — «Сов. геология», № 8, 1966, с. 158—164.
3. А р х а н г е л ь с к и й А. Д. Геологическое строение и геологическая история СССР. Ч. I. М.—Л., Гостоптехиздат, 1941, 376 с.
4. А р х а н г е л ь с к и й А. Д., Ш а т с к и й Н. С. Схема тектоники СССР. — «Бюлл. МОИП, отд. геол.», № 4, 1933, с. 323—348.
5. А р х а н г е л ь с к и й А. Д., Ш а т с к и й Н. С., М е н н е р В. В. и др. Краткий очерк геологического строения СССР. М., Изд-во АН СССР, 1937, 299 с.
6. Б а к и р о в А. А. Основные черты тектонического развития Верхнего Поволжья. — В сб.: Памяти акад. И. М. Губкина. М., Изд-во АН СССР, 1951, с. 111—133.
7. Б а к а л а е в Я. П., О в ч и н н и к о в Л. Н. Структурно-тектонические закономерности размещения контактово-метасоматических эндогенных месторождений на Урале. — «Сов. геология», № 9, 1964, с. 62—69.
8. Б а р к о в А. С. Словарь—справочник по физической географии. Изд. 3-е, М., Учпедгиз, 1954, 308 с.
9. Б е л и к о в Б. П. Модули упругости различных типов горных пород СССР. — «Труды Ин-та геол. наук, вып. 146, петрограф. сер.», № 42, М., Изд-во АН СССР, 1952, с. 3—38.
10. Б е л и к о в Б. П. Упругие и прочностные свойства горных пород. — «Труды ИГЕМ», вып. 43, М., Изд-во АН СССР, 1961, с. 47—110.
11. Б е л о н и н М. Д. К вопросу о строении и эволюции локальных поднятий. — В сб.: Математические методы в геологии. МГК, XXIII сессия. Доклады советских геологов. М., Изд-во «Наука», 1968, с. 135.
12. Б е л о у с о в В. В. Общая геотектоника. М., Госгеоллиздат, 1948, 600 с.
13. Б е л о у с о в В. В. Проблемы внутреннего строения Земли и ее развития. — «Известия АН СССР. Сер. геол.», т. XV, № 1, 1951, с. 3—23.
14. Б е л о у с о в В. В. Основные вопросы геотектоники. М., Госгеолтехиздат, 1954, 606 с.
15. Б е л о у с о в В. В. Структурная геология. М., Изд-во Моск. ун-та, 1961, 208 с.
16. Б е л о у с о в В. В. Пути развития наук о Земле. — В сб.: Взаимодействие наук в изучении Земли. М., Изд-во АН СССР, 1963, с. 11—24.
17. Б е н ь о ф Г. Сейсмические данные о строении земной коры и тектонической деятельности. — В сб.: Земная кора. М., Изд-во иностр. лит., 1957, с. 76—88.
18. Б е р т а л а н ф и Л. Общая теория систем — обзор проблем и результатов. — В сб.: Системные исследования. М., Изд-во «Наука», 1969, с. 30—54.

19. Биллингс М. П. Структурная геология. М., Изд-во иностр. лит., 1949, 432 с.
20. Богданов А. А. Тектоника западной части Центрального Казахстана. — «Сов. геология», сб. 41, 1954, с. 77—101.
21. Богданов А. А. О термине «структурный этаж». Ст. 3. — «Бюлл. МОИП, отд. геол.», № 1, 1963, с. 3—16.
22. Богданов А. А., Муратов М. В., Хаин В. Е. Об основных структурных элементах земной коры. — «Бюлл. МОИП, отд. геол.», № 3, 1963, с. 3—32.
23. Боголепов К. В. Эпикратонные складчатые комплексы. — В кн.: Геологическое строение земной коры Сибири и Дальнего Востока. Изд-во СО АН СССР, 1965, с. 24—35.
24. Борисов А. А. Морфология поверхности Мохоровичича и ее структурное значение. — «Сов. геология», № 4, 1964, с. 3—23.
25. Борисьяк А. А. Теория геосинклиналей. — «Известия Геолкома», № 1, 1924, с. 1—16.
26. Боровиков А. М. О фактическом состоянии тектонической терминологии. — «Геотектоника», № 1, 1968, с. 3—7.
27. Борукаев Ч. Б. О палинспастических построениях. Тезисы докладов на VI сессии науч. совещ. по тектонике Сибири и Дальнего Востока. Новосибирск, 1968, 27 с.
28. Ботвинкина Л. Н., Рухин Л. Б., Хворова И. В. Полевые наблюдения над структурами и текстурами осадочных пород. Т. I. М., Госгеолтехиздат, 1957, с. 78—114.
29. Бубнов С. Н. Основные проблемы геологии. М., Изд-во Моск. ун-та, 1960, 336 с.
30. Булин Н. К. О глубинных разломах земной коры на территории Туркмении. — «Известия АН СССР. Сер. геол.», № 8, 1964, с. 51—66.
31. Булина Л. В. О выделении разрывных нарушений на Сибирской платформе по данным аэромагнитной съемки. — «Геология и геофизика», № 2, 1964, с. 105—113.
32. Бухарцев В. П., Мирчинк М. Ф. К методике геолого-статистического анализа локальных структур. — В сб.: Опыт применения математики и статистики. ЦНИИТЭнефтегаз, сер. геол. М., 1962, с. 5—13.
33. Бушинский Г. И. Геохимия осадочного процесса. — В кн.: Спутник полевого геолога-нефтяника. М., Гостоптехиздат, 1952, с. 385—428.
34. Бэрри Б. М. Эпитаксия. — В кн.: Основы технологии кремниевых интегральных схем. М., Изд-во «Мир», 1969, с. 12—32.
35. Варсанофьева В. А. Происхождение и строение Земли. М., Госгеолтехиздат, 1945, 412 с.
36. Васильковский Н. П., Туезов И. К. Некоторые важнейшие задачи изучения советской части Тихоокеанского подвижного пояса. — «Геология и геофизика», № 8, 1966, с. 3—14.
37. Вассоевич Н. Б. Полевая геология. — В кн.: Спутник полевого геолога-нефтяника, т. I, М., Гостоптехиздат, 1954, с. 22—165.
38. Вассоевич Н. Б. Текстура осадочных горных пород. — В кн.: Справочник руководства по петрографии осадочных пород, т. I, Л., Госгеолтехиздат, 1958, с. 95—129.

39. Ващилов Ю. Я. Закономерности в распределении глубин заложения разломов. — «Сов. геология», № 3, 1967, с. 119—122.
40. Вильямс Х., Тернер Ф. Дж., Гилберт Ч. М. Петрография. М., Изд-во иностр. лит., 1957, 426 с.
41. Вистелиус А. Б., Романова М. А. Красноцветные отложения полуострова Челекен. — В кн.: Литостратиграфия и геологическое строение. М., Госгеолтехиздат, 1962, 227 с.
42. Вистелиус А. Б., Яновская Т. Б. Программирование задач геологии и геохимии при использовании универсальных электронных вычислительных машин. — «Геология рудных месторождений», № 3, 1963, с. 34—48.
43. Войновский-Кригер К. Г. О некоторых спорных вопросах механизма складкообразования. — «Известия АН СССР. Сер. геол.», № 1, 1966, с. 73—89.
44. Воронин Ю. А., Боровиков А. М., Салин Ю. С. и др. О проведении стратиграфических построений на ЭВМ. — «Труды вычислит. центра СО АН СССР», вып. 2. Новосибирск, 1971, с. 45—53.
45. Воронин Ю. А., Боровиков А. М., Салин Ю. С. и др. О теоретическом совершенствовании стратиграфических построений с помощью моделирования на ЭВМ. — В сб.: Применение математических методов и ЭВМ при поиске полезных ископаемых. Новосибирск, 1972, с. 45—79.
46. Воронин Ю. А., Гусев Ю. М. О построении одного алгоритма выделения и описания аномалий гравитационного и магнитных полей. — В сб.: Математические методы в геологии и геофизике, вып. 79. Новосибирск, 1968, с. 122—131.
47. Воскресенский И. А. Тектоника и основные этапы развития Вандамского антиклинория (Юго-Восточный Кавказ). — «Известия вузов, геол. и разв.», 1959, № 12, с. 35—48.
48. Гзовский М. В. Градиент скорости движения, напряженного состояния коры и энергии тектонических процессов новейшего времени. — В кн.: Тектонические движения и новейшие структуры земной коры. М., Изд-во «Недра», 1967, с. 30—36.
49. Гзовский М. В. Математика в геотектонике. М., Изд-во «Недра», 1971, 240 с.
50. Геншафт Ю. С., Наседкин В. В., Рябинин Ю. Н. и др. Поведение щелочных базальтов при участии воды в условиях высоких давлений и температур. — «Известия АН СССР. Сер. геол.», № 6, 1967, с. 18—35.
51. Геологический словарь. Т. 1, М., Госгеолтехиздат, 1955, 446 с.
52. Глазунова А. В. Выделение и трассирование разломов по аэромагнитным данным в некоторых районах Средней Азии. — В кн.: Глубинные разломы. М., Изд-во «Недра», 1964, с. 74—81.
53. Гогель Ж. Замечания по поводу изменений, вносимых в легенду тектонической карты Европы. — «Геотектоника», № 2, 1966, с. 33—34.
54. Гогель Ж. Основы тектоники. М., Изд-во «Мир», 1969, 440 с.
55. Годин Ю. Н. Изучение строения земной коры по опорным региональным сейсмическим профилям на юго-востоке Русской платформы и в Средней Азии. — В сб.: Глубинное сейсмическое зондирование СССР. Гостехиздат, 1962, с. 89—115.
56. Головкинский Н. А. О пермской формации в центральной части Камско-Волжского бассейна. — В кн.: Материалы по геологии России, т. I, 1868—1869, с. 273—415.

57. Гольдин С. В., Волков А. М., Гольдин Н. А. Аксиоматическая классификация залежей нефти и газа и ее применение для описания месторождений Тюменской области. — «Труды Зап. СибНИГНИ», вып. 29. М., Изд-во «Недра», 1970, 208 с.
58. Горский В. П. Структурно-формационное подразделение Западно-Уральского (Предуральского) прогиба. — В кн.: О ледниковых и вулканогенных формациях. М., Изд-во «Недра», 1966, с. 31—45.
59. Горшков Г. С. Некоторые вопросы теории вулканологии. — «Известия АН СССР. Сер. геол.», № 11, 1958, с. 21—27.
60. Грин Д. Х., Рингвуд А. Э. и др. Петрология верхней мантии. М., Изд-во «Мир», 1968, 335 с.
61. Громов Ю. Я. Основные структурные элементы вулканогенно-осадочных покровов срединных массивов. — В кн.: Тезисы докл. совещ. по проблемам тектоники. М., Изд-во АН СССР, 1962, с. 121—122.
62. Гурарий Г. З., Соловьева И. А. Строение земной коры по геофизическим данным. — «Труды ГИН АН СССР», М., 1963, 127 с.
63. Гутенберг Б. Физика земных недр. М., Изд-во иностр. лит., 1963, 263 с.
64. Давиташвили Л. Ш. История эволюционной палеонтологии от Дарвина до наших дней. М., Изд-во АН СССР, 1948, 575 с.
65. Данбар К., Роджерс Дж. Основы стратиграфии. М., Изд-во иностр. лит., 1962, 363 с.
66. Деменицкая Р. М. Основные черты строения коры Земли по геофизическим данным. — «Труды НИИГА», т. 115, 1961, 250 с.
67. Денисов П. Я. О природе формации глинистых пород. Изд-во Мин. речного флота СССР, 1951, 150 с.
68. Добрецов Н. Л., Ревердатто В. В., Соболев В. С. и др. Фации регионального метаморфизма СССР. Изд-во СО АН СССР, Новосибирск, 1966, 31 с.
69. Дюбертре Л. Краткая характеристика 16 листа Международной тектонической карты Европы в масштабе 1 : 2 500 000 и 3 листа Международной тектонической карты Африки в масштабе 1 : 5 000 000. — «Геотектоника», № 4, 1966, с. 48—56.
70. Елисейев Н. А. О происхождении первичной полосчатости в Левозерском плутоне. — «Зап. Всес. минерал. об-ва», т. 70, № 1, 1941, 126 с.
71. Жемчужников Ю. А. Сезонная слоистость и периодичность осадко-накопления. — «Труды ГИН», вып. 86, М., Изд-во АН СССР, 1963, 71 с.
72. Жижченко Б. П. Методы стратиграфических исследований нефтегазовых областей. М., Изд-во «Недра», 1969, 374 с.
73. Заварицкий А. Н. Некоторые факты, которые надо учитывать при тектонических построениях. — «Известия АН СССР. Сер. геол.», № 2, 1946, с. 3—12.
74. Заварицкий А. Н. Изверженные горные породы. М., Изд-во АН СССР, 1955, 479 с.
75. Залесский Б. В., Тимченко П. П. Структурно-литологические особенности и физико-механические свойства карбонатных пород Сохского месторождения. — «Труды ИГЕМ», вып. 13, 1958, с. 18—24.
76. Захаров С. А. О широтных сдвигах в южных предгорьях Гиссарского хребта. Сообщ. Тадж. филиала АН СССР, вып. IV, 1948, 153 с.

77. Зубкович М. Б. Методы палеонтолого-стратиграфических исследований. — «Высшая школа», 1968, 232 с.
78. Ибн-Сина. Даниш-Намэ (книга знаний). Таджикское гос. изд-во, 1957, 286 с.
79. Ивановна Е. А. Основы биостратиграфии среднего и верхнего карбона Подмосковной котловины. — «Материалы ВСЕГЕИ, палеонт. и стратиграфия». М.—Л., Госгеолиздат, 1948, с. 120—133.
80. Ирдли А. Структурная геология Северной Америки. М., Изд-во иностр. лит., 1954, 666 с.
81. Карта тектоники докембрия континентов. М-б 1 : 15 000 000. ГУГК, 1972.
82. Келлер Б. М. Стратиграфические подразделения. — «Известия АН СССР. Сер. геол.», № 6, 1950, с. 3—25.
83. Келлер Б. М. Типовые разрезы Казахстана. — «Труды ИГН АН СССР, геол. сер.», (№ 65), вып. 154, 1954, с. 5—47.
84. Клубов В. А. Морфогенетическая классификация нефтеносных тектонических структур Волго-Уральской области. — «Геология нефти и газа», № 9, 1963, с. 39—45.
85. Князев Г. И. К систематике замкнутых рудных полей. — «Геотектоника», № 2, 1967, с. 94—100.
86. Косминская И. П., Шейнман Ю. М. Некоторые закономерности строения и эволюции земной коры межгорных и краевых прогибов. — «Бюлл. МОИП, отд. геол.», № 3, 1965, с. 5—16.
87. Косыгин Ю. А. Тектоника нефтеносных областей. Ч. I. — В кн.: Общая тектоника. М., Гостоптехиздат, 1958, 516 с.
88. Косыгин Ю. А. Геологические структуры и структурно-вещественные ассоциации. — «Геология и геофизика», № 7, 1964, с. 3—12.
89. Косыгин Ю. А., Башарин А. К. и др. Опыт объемного районирования земной коры на примере Сибири и Дальнего Востока. — «Геология и геофизика», № 5, 1964, с. 3—18.
90. Косыгин Ю. А., Воронин Ю. А., Борукаев Ч. Б. и др. Геологическая структура, опыт формализационного определения и описания. — «Геология и геофизика», 1966, № 1, с. 20—25; 1967, № 8, с. 16—26.
91. Косыгин Ю. А., Воронин Ю. А., Соловьев В. А. Опыт формализации некоторых тектонических понятий. — «Геология и геофизика», № 1, 1964, с. 23—37.
92. Криштофович А. Н. Унификация геологической терминологии и новая система региональной стратиграфии. — «Материалы ВСЕГЕИ, палеонт. и стратигр.», сб. 4, М.—Л., Госгеолиздат, 1945, 97 с.
93. Кропоткин П. Н. О происхождении складчатости. — «Бюлл. МОИП», № 5, 1950, с. 89—111.
94. Крумбейн В. К., Слоосе Л. Л. Стратиграфия и осадкообразование. М., Гостоптехиздат, 1960, 364 с.
95. Кузьмин А. М. Слой и наслоение. Изд. Зап.-Сиб. филиала АН СССР. Новосибирск, 1950, 99 с.
96. Куляев С. М., Аскеров Ф. А., Шамсиев А. А. Зависимость механических свойств глинистых пород от степени их уплотнения. «Известия АН АзССР. Сер. геол. и геоф.», 1964, № 6, с. 35—42.

97. Кэ й М. Геосинклинали Северной Америки (перевод с англ.). М., Изд-во иностр. лит., 1955, 192 с.
98. Лафарг П. Воспоминания о Марксе. М., Госполитиздат, 1958, 23 с.
99. Левинсон-Лессинг Ф. Ю. Олонецкая диабазовая формация. — «Труды СПб об-ва естествоисп.», вып. 19, 1888, 374 с.
100. Левинсон-Лессинг Ф. Ю. Петрография. М.—Л., Новосибирск, 1933, 460 с.
101. Лемаун М. По поводу сообщения проф. Гертнера и профессоров А. А. Богданова, П. Д. Гамкрелидзе, М. В. Муратова, В. Е. Хайна. — «Геотектоника», № 2, 1966, с. 34—35.
102. Леонов Г. П. Историческая геология. М., Изд-во Моск. ун-та, 1956, 364 с.
103. Леонтьев А. А. Язык, речь, речевая деятельность. М., Изд-во «Провещение», 1969, 214 с.
104. Лизс Ч. К. Структурная геология. ОНТИ, 1935, 284 с.
105. Лис Д. М. Современные движения на Среднем Востоке. — В кн.: Живая тектоника. М., Изд-во иностр. лит., 1957, с. 274—281.
106. Лучицкий В. И. Петрография. Т. 2. ч. 3, М.—Л., ГОНТИ НКТП, 1938, 220 с.
107. Ляпунов А. А. О логико-методологическом исследовании науки. — В сб.: Проблемы исследования структуры науки. Новосибирск, Изд. НГУ, 1967, с. 18—35.
108. Магницкий В. А. Основы физики Земли. М., Геодиздат, 1953, 290 с.
109. Магницкий В. А. Внутреннее строение и физика Земли. М., изд-во «Недра», 1965, 379 с.
110. Мак-Ки. Фациальные изменения на Колорадском плато. — В сб.: Осадочные фации в геологической истории. М., Изд-во иностр. лит., 1953, с. 63—81.
111. Маркова Н. Г., Хорева Б. Я. Типы приразломных структур (зон смятия) и их генезис на примере Центрального Казахстана и Алтая. — «Труды ГИН», вып. 2, М., Изд-во АН СССР, 1963, 132 с.
112. Международная тектоническая карта Европы м-ба 1 : 2 500 000. М., Изд-во «Недра», 1964.
113. Мельников Г. П. Азбука математической логики. М., Изд-во «Знание», 1967, 104 с.
114. Меннер В. В. Биостратиграфические основы сопоставления морских лагунных и континентальных свит. М., Изд-во АН СССР, 1962, 375 с.
115. Мирчинк М. Ф., Бакиров А. А. О геотектоническом развитии Русской платформы и основных закономерностях размещения нефтегазоаккумуляции на ее территории. XX Международный геол. конгресс. Материалы по геологии нефти, т. I. М., Гостоптехиздат, 1958, с. 40—52.
116. Муратов М. В. Структурные комплексы и этапы развития геосинклинальных складчатых областей. — «Известия АН СССР. Сер. геол.», № 6, 1963, с. 3—23.
117. Муратов М. В. Складчатые геосинклинальные пояса Евразии. — «Геотектоника», № 6, 1965, с. 3—18.
118. Найденов Б. М., Чердынцев В. В. Эволюция земной коры по данным об изотопах рудного свинца. — «Докл. АН СССР», т. 172, № 3, 1967, с. 688—691.

119. Неймайр М. История Земли. Т. I и II (перевод с нем.). СПб, 1904, 789 с., 848 с.
120. Нехорошев В. П. О причинах, затрудняющих корреляцию стратиграфических схем. — В сб.: Биостратиграфические и палеобioфациальные исследования и их практическое значение. М., Изд-во «Недра», 1970, с. 85—99.
121. Никифоров Н. А. О значении порядков складчатых и разрывных нарушений. — «Докл. АН УзССР», № 1, 1953, с. 25—38.
122. Обуэн Ж. Геосинклинали, проблемы происхождения и развития. М., Изд-во «Мир», 1967, 302 с.
123. Ог, Э. Геология. Т. I (перевод с франц.). М., 1914, 466 с.
124. Основные итоги совещания по классификации платформенных структур. — «Геология нефти и газа», № 11, 1963, с. 59—64.
125. Основы тектоники Китая. М., Госгеолтехиздат, 1962, 528 с.
126. Островский И. А. О методике исследований фазовых равновесий при сверхвысоких давлениях (РТ-диаграмма SiO₂). — «Известия АН СССР. Сер. геол.», № 8, 1966, с. 11—18.
127. Павлов Е. С. Глубинные разломы и размещение эндогенного оруденения на территории Приморья. — «Сов. геология», № 2, 1964, с. 18—32.
128. Пейве А. В. Глубинные разломы в геосинклинальных областях. — «Известия АН СССР. Сер. геол.», № 5, 1945, с. 23—46.
129. Пермяков Е. И. Тектоническая трещиноватость Русской платформы. — В кн.: Материалы к познанию геологического строения СССР, нов. серия, вып. 12 (16). М., Изд-во БМОИП, 1949, 215 с.
130. Половинкина Ю. Ир., Егоров Е. Н., Аникеева Н. Ф. и др. Структуры горных пород. Т. 1 — Магматические породы; т. 2 — Метаморфические породы. М.—Л., Госгеоллиздат, 1948, 203 с., 308 с.
131. Польстер Л. П., Зайдель А. Р. Использование электронно-вычислительных машин для решения некоторых геологических задач. Л., Изд-во «Недра», 1965, 125 с.
132. Пустовалов Л. В. Геохимические фации и их значение в общей и прикладной геологии. — «Проблемы советской геологии», № 1, 1933, с. 57—80.
133. Пэк А. В. Трещинная тектоника и структурный анализ. М., Изд-во АН СССР, 1939, 145 с.
134. Раницман Е. Я., Пшенин Г. Н. Новейшие горизонтальные движения земной коры в зоне Талассо-Ферганского разлома по данным геоморфологического анализа. — В кн.: Тектонические движения и новейшие структуры земной коры. М., Изд-во «Недра», 1967, с. 155—158.
135. Рапопорт А. Различные подходы к общей теории систем. — В сб.: Системные исследования. М., Изд-во «Наука», 1969, с. 55—79.
136. Резанов И. А. К вопросу о геологической интерпретации данных ГСЗ. — «Сов. геология», № 6, 1960, с. 65—77.
137. Резанов И. А. О строении земной коры платформенных областей. — «Бюлл. МОИП, отд. геол.», № 1, 1962, с. 25—42.
138. Робертс Э. Когда сотрясается Земля. М., Изд-во «Мир», 1966, 248 с.
139. Родюнов Д. А. Статистические методы разграничения геологических объектов по комплексу признаков. М., Изд-во «Недра», 1968, 158 с.
140. Розанов Л. Н. К вопросу о залегании нефти и газа в связи с тектоникой вост. части Русской платформы. — «Нефтяное хозяйство», № 7, 1954, с. 8—12.

141. Розанов Ю. А. Зависимость физико-механических свойств известняков от особенностей их структуры. — «Труды ИГН, сер. петрограф.», № 4, 1952, с. 102—109.
142. Рябинин Ю. Н. Некоторые результаты исследований свойств веществ при высоких давлениях и температурах, представляющих интерес для геофизики. — «Известия АН СССР. Сер. геол.», № 8, 1966, с. 3—10.
143. Сапожников Д. Г. Тектоника западной части Казахской складчатой страны. — В кн.: Тектоника СССР. т. I (Тектоника Центрального Казахстана, ч. I). М., Изд-во АН СССР, 1948, с. 206—230.
144. Сачков А. А. Геохимия. М., Изд-во «Наука», 1966, 283 с.
145. Словарь по геологии нефти. М., Госгеолтехиздат, 1958, 531 с.
146. Соколов Б. С. Биохронология и стратиграфические границы. — В сб.: Проблемы общей и региональной геологии. Новосибирск, Изд-во «Наука», 1971, с. 155—178.
147. Солоненко В. П. Сейсмодислокации и сопутствующие явления. — В кн.: Гоби-Алтайское землетрясение. М., Изд-во АН СССР, 1963, с. 45—63.
148. Степанов Д. Л. Принципы и методы биостратиграфических исследований. М., Гостоптехиздат, 1958, 163 с.
149. Стратиграфическая классификация и терминология. М., Госгеолтехиздат, 1956, 28 с.
150. Стратиграфический словарь СССР (под ред. Б. К. Лихарева). М., Госгеолтехиздат, 1956, 1284 с.
151. Страхов Н. М. Основы исторической геологии. Ч. I и II. М., Госгеолтехиздат, 1948, 254 с., 396 с.
152. Тектоническая карта Евразии. М-б 1 : 5 000 000 (под ред. А. Л. Яншина). ГИН, АН СССР, ГУГК МГ СССР, 1966.
153. Тектоническая карта Тихоокеанского сегмента Земли. М-б 1 : 10 000 000. ГУГК, 1970.
154. Теодорович Г. И. Осадочные геохимические фации. — «Бюлл. МОИП, отд. геол.», № 1, 1947, с. 3—24.
155. Тернер Ф., Ферхуген Д. Петрология изверженных и метаморфических пород. М., Изд-во иностр. лит., 1961, 267 с.
156. Тетяев М. М. Принципы тектонического районирования территории СССР. — «Проблемы советской геологии», № 1, 1933, с. 9—34.
157. Тетяев М. М. Основы геотектоники. ОНТИ, 1934, 365 с.
158. Тетяев М. М. Геотектоника СССР. ОНТИ, 1938, 298 с.
159. Тетяев М. М. Основы геотектоники. М., Госгеолтехиздат, 1941, 356 с.
160. Каченко Б. В., Рабкин М. И., Демокидов К. К. и др. Геологическое строение северной части Средне-Сибирского плоскогорья. — В сб.: Геология Советской Арктики. М., Госгеолтехиздат, 1957, с. 23—35.
161. Трусов Ю. П. Предмет и метод геохимии и некоторые вопросы взаимодействия наук на современном этапе развития естествознания. — В кн.: Взаимодействие наук при изучении Земли. М., Изд-во АН СССР, 1963, с. 234—285.
162. Трушкова Л. Я. Новые данные по стратиграфии верхней юры Обь-Иртышского междуречья. — «Геология и геофизика», № 2, 1967, с. 76—85.
163. Уемов А. И. Логические основания метода моделирования. М., Изд-во «Мысль», 1971, 311 с.

164. Уиллис Б. и Уиллис Р. Структурная геология (геологические структуры). Азерб. Гос. Изд-во, Баку, 1932, 298 с.
165. Федоров А. К. Словарь по нефтяной геологии. ОНТИ, 1935, 211 с.
166. Ферберн Х. В. Структурная петрология деформированных горных пород. М., Изд-во иностр. лит., 1949, 267 с.
167. Фор-Мюре, А., Шубер Ю. Принципы изображения альпийских складчатых зон на Международной тектонической карте Африки в масштабе 1: 5 000 000. — «Геотектоника», № 4, 1966, с. 24—47.
168. Хаин В. Е. Значение геотектоники для геологии нефти. — «Природа», № 12, 1950, с. 8—14.
169. Хаин В. Е. Геотектонические основы поисков нефти. — «Азнефтеиздат», 1954, 690 с.
170. Хаин В. Е. Глубинные разломы: основные признаки, принципы классификации и значение в развитии земной коры. — «Известия высш. уч. завед. геол. и развед.», 1963, № 3, с. 13—29.
171. Хаин В. Е. Общая геотектоника. М., Изд-во «Недра», 1964, 479 с.
172. Халфин Л. Л. Принципы биостратиграфической параллелизации. — «Труды СНИИГГИМС», вып. 8, Новосибирск, 1960, с. 5—27.
173. Халфин Л. Л. Принципы Никитина-Чернышева — теоретическая основа стратиграфической классификации. — В кн.: Проблемы стратиграфии. — «Труды СНИИГГИМС», вып. 94. Новосибирск, 1969, с. 7—42.
174. Хворова И. В. Флишевая и нижнемолассовая формации Южного Урала. — «Труды ГИН АН СССР», вып. 37, 1961, 150 с.
175. Херасков Н. П. Геологические формации (опыт развернутого определения). — «Бюлл. МОИП, отд. геол.», № 5, 1952, с. 31—52.
176. Чеботарев М. В., Усенко С. Ф. Разломы Приамурья и Западного Приохотья. — «Сов. геология», № 7, 1967, с. 38—49.
177. Челебаева А. И. Вопросы стратиграфии континентального кайнозоя Камчатки. М., Изд-во «Наука», 1971, 103 с.
178. Червяковский Г. Ф., Таврин И. Ф., Ярош А. Я. и др. Широкие и субширотные структуры Урала. — «Сов. геология», № 11, 1966, с. 35—43.
179. Шатский Н. С. Избранные труды. М., Изд-во «Наука», т. I, 1963, т. II, 1964, т. III, 1965, т. IV, 1965, 622 с., 720 с., 540 с., 398 с.
180. Шахов Ф. Н. Текстуры руд. М., Изд-во АН СССР, 1961, 180 с.
181. Шейнманн Ю. М. Послесловие к кн.: А. Дю Тойта «Геология Южной Африки». М., Изд-во иностр. лит., 1957, с. 5—6.
182. Шнеерсон Б. Л. Некоторые задачи о движении вязких жидкостей в применении к геологии. — «Известия АН СССР. Сер. геофиз.», № 6, 1953, с. 500—513.
183. Штилле Г. Избранные труды. М., Изд-во «Мир», 1964, 888 с.
184. Штрейс Н. А. О некоторых основных понятиях в учении о геосинклиналях. — «Бюлл. МОИП, отд. геол.», т. XXII, вып. 5, 1947, с. 81—106.
185. Шустова Л. Е. Глубинное строение Балтийского щита по данным геофизических исследований. — «Сов. геология», № 5, 1966, с. 47—57.
186. Яковлев С. А. Общая геология. М., Госгеолиздат, 1948, 722 с.
187. Яншин А. Л. О погружении к югу Уральской складчатой системы и тектонической природе Южно-Эмбенского поднятия. — «Бюлл. МОИП, отд. геол.», № 5, 1955, с. 51—74.

188. Яншин А. Л. Проблема срединных массивов. — «Бюлл. МОИП, отд. геол.», № 5, 1965, с. 8—39.
189. Ярош А. Я. Разломы кристаллического фундамента восточных районов Русской платформы и Западного Приуралья. — «Сов. геология», № 10, 1966, с. 59—68.
190. Hedberg H. D. Chronostratigraphy and Biostratigraphy. *Geol. Magazine*, v. 102, N 5, 1965.
191. Hedberg H. D. Stratigraphic boundaries. — A reply. *Eclogae Geologicae Helveticae*, v. 63, N 2, 1970.
192. Kay M. *Paleogeographic and palinspastic maps*. *Bull. Amer. Assoc. Petroleum Geol.*, v. 29, N 4, 1945.
193. Lovering G. F. The nature of the Mohorovicic discontinuity. *Trans. Amer. Geoph.* 1958.
194. Pfannenstiel M. Die Entstehung einiger tectonischer Grundbegriffe Ein Beitrag zur Geschichte der Geologie. *Geol. Rundschau*, v. 59, N 1, 1969.
195. Robertson E. G., Birch F., MacDonald G. Experimental determination of jadeit stability relations to 2500 bars. *Amer. Journ. of Science*, N 8, 1957.
196. Rodgers J. Nature, usage and nomenclature of stratigraphic units: a minority report *Strat. Comm. Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, v. 38, N 4, 1954.
197. Schuchert C. Sites and natures of the North-American geosynclines. *Bull. Geol. Soc. Amer.* 34, 1923.
198. Wheeler H. E., Beesley E. M. Critique of the timestratigraphic concept. *Bull. Geol. Soc. of Amer.*, v. 59, 1948.

Предметный указатель

- Анализ тектонический 192
А. фациальный 192
А. формационный 3
Аптекклиза 28, 58, 69
Антиклиналь 168
Антиклинорий 30, 157
Аппарат эруптивный 132
Ассоциация пород 10
А. структурно-вещественная 78
А. вещественная 72, 134, 138
- Базификация 112
Биозона 93
Биотоп 183
Б. неспецифический 182
Биофация 182, 183
Б. неспецифическая 182
- Вековые движения 166
Взброс 157
Включения 84, 158
Возраст абсолютный 175, 176
В. геологический 178
В. складчатости 133, 135, 152, 153
В. С. основной 133
Волновод 109
Впадина внутренняя 156
В. орогенная 10
Время геологическое 15, 174, 175, 178
В. Г. фиксированное 178
В. физическое 175, 178
- Генезис 14
Геоантиклиналь 29, 30, 40, 87, 130, 133, 137, 154, 155
Геодинамика 14
Геология динамическая 14
Геомеханика 7, 8
Геосинклиналь 3, 9, 10, 25, 27, 28, 31, 87, 130, 131, 133, 137, 141, 143, 144, 154, 162, 190
Геосфера 9—11, 144—155
Геотектоника 6—8
Горизонт 96
Г. геологический 97
Г. палеонтологический 97
Г. петрографический 97
Г. стратиграфический 97
Г. хронологический 97
Горст 94, 133, 168
Грабен 94, 133, 168
Градация 146
Граница биостратиграфическая 87, 98—102
Г. геологическая 3, 45—53
Г. Г. дизъюнктивная 47, 51, 140
Г. Г. первого рода 108
Г. Г. резкостная 47—49, 98, 99
Г. Г. условная 47, 48, 102
Г. Конрада 108
Г. литологическая 98, 100—102
Г. Мохоровичича 98, 99, 108
Г. стратиграфическая 91, 99
Г. фазовая 172
Г. формации 138
Границы геологические произвольные: 53
Г. нарушенные 48
Г. произвольные 47, 48, 53
Г. резкостные второго рода 50
Г. р. первого рода 50
Г. р. простые 50
Г. р. сложные 50
Г. р. составные 50
Г. условные второго типа 47, 48, 52
Г. у. первого типа 47, 48, 51
Г. у. третьего типа 47, 48, 52
- Давление тектоническое, стресс 91
Движение вертикальное 7
Д. восходящее 187
Д. горизонтальное 7
Д. квазиупругое 167—168
Движения локальные 167—168
Д. неотектонические 91, 186—188
Д. нисходящие 187
Д. новейшие 186, 187
Д. современные 186, 187
Д. тектонические 3, 7, 16, 92, 186—193
Д. «упругие» 166
Депрессия межгорная 175

Д. компенсационная 171
 Диагенез 20, 181
 Диapiroсы соляные 124
 Дислокации 3, 114, 165
 Д. дизъюнктивные 3, 115—120, 123, 124, 168
 Д. инъективные 3, 122—127, 168
 Д. пликативные 3, 115, 120—124, 126
 Д. тектонические 3, 92, 161, 195

Жилы седловидные 110

Залегание горизонтальное 133
 З. несмещенное 117
 З. смещенное 117
 Закон последовательности напластования 94, 95

Зона антиклинальная 156—157
 З. апикальная 124
 З. биостратиграфическая 92—93
 З. видовая 93
 З. геосинклиальная 142
 З. моноксонная 93
 З. политаксонная 93
 З. разлома 139
 З. родовая 93
 З. синклиальная 156—157
 З. складчатая 54, 117, 134
 З. структурно-формационная 144, 147
 З. фаунистическая 93
 З. флористическая 93

Иерархия 18

И. слоев 96

Изгиб 121

Интенсивность складчатости 121

И. трещиноватости 131

Карта геологическая 87, 107, 184

К. палеогеографическая 184

К. тектоническая 9, 11, 87, 129, 137, 155—157, 184

К. фациальная 184

Картирование геологическое 15

Комплекс вулканогенный 156

К. геосинклиальный 11, 110, 111, 149, 151

К. г. складчатый 11, 143

К. орогенный 11

К. платформенный 11, 151

К. плитный 11

К. покровный 135

К. складчатый 11, 147

К. структурно-вещественный 148

К. формационный 9, 11, 139

Конструкция биостратиграфическая 175

К. литологическая 175

К. радиологическая 175

Конструкт ретроспективный 163

Контакты эпитахсиальные 76

Кора земная 94, 108—113

Корреляция стратиграфическая 97, 98, 177

К. хронологическая 97

Крыло складки 124

Купол соляной 124

Лакколит 124

Литотоп 182

Литофагия 182, 183

Л. нехарактерная 182

Мантия 108—113

М. верхняя 6, 7

Массив 31

М. ранней консолидации 153

М. складчатый 153

М. соляной 153, 154, 157, 170

М. срединный 69, 153

М. с. остаточный 153, 154

Мегакомплекс 147

Метаморфизм 12

Минералогия экспериментальная 20

Многосинклиаль 27, 155

Модель 5, 174

М. прогнозная 25

М. ретроспективная 174

М. статическая 170

Моласса 145, 146

Мощность слоя 122

М. характеристики 68

Надвиг крутой 157

Н. пологий 157

Надформация 146

Нерегулярность решетки 74, 76

Нормаль стратиграфическая 105

Область активизации 184

О. геосинклиальная 69, 131, 134, 149, 152—154, 162

О. г. эпикратонная 151

О. континентальная 129

О. океанизации 184

О. океаническая 129

О. пластическая 141

О. платформенная 149—151

О. прогибания 183

О. складчатости 153

Оболочка гипергенная 94

О. осадочная 7, 11, 78—81, 110, 137,
139, 155, 162, 163, 166, 187
Объект геологический 9
Ось складки 28
Очаг магматический 6
Отношение разновозрастности 20
О. стратиграфическое 175

Парагеосинклиналь 27
Пачка 96
Петротектоника 10
Пласт 31, 92
Платформа 9, 28, 31, 69, 87, 134, 135,
137, 141, 151, 162
П. активизированная 31
П. древняя 151, 154
П. молодая 151
Плита 10
Плотность расположения складок 102
П. решетки 74, 77
Площадь геосинклинальная 141
Поверхность Мохоровичича 6, 108,
110, 114
П. несогласия 31
П. разновозрастности 97
П. структурная 35
Подкомплекс 96
Поднятие 28
Подсвета 96
Подсерия 96
Подформация 146
Подход системный 13, 14, 196
Подэтаж структурный 198
Поле генетических характеристик 183
П. хроностратиграфическое 177
Полуплатформа 28, 151
Порядок структуры 84
Пояс вулканогенный 10, 157
П. геосинклинальный 152
П. рудные 126
П. складчатый 151
Признак структурно-вещественный
128, 133, 134, 136
П. фациальные 180
Принцип актуализма 19, 20, 179
П. однородности описания 132
П. последовательности напластования
19
П. соразмерности 130
П. специализации 91, 129
П. целесообразности 131
Прогиб 144
П. внутренний 144
П. геосинклинальный 29
П. краевой 9, 142, 151, 156
Пространство геологическое 38—45,
83, 95
П. г. гетерогенное 44
П. г. неполноопределенное 43

П. г. полноопределенное 43
П. г. статическое 31, 38
П. г. с. формальное 41, 42
П. г. с. специализированное 42
П. г. с. ф. теоретическое 43
П. г. с. ф. элементарное 42
П. геосинклинальное 194
П. геохимическое 38
Процесс геологический 159—161
П. г. сложный 159
П. г. однородный 160
П. г. простой 159
П. тектонический 160
Процессы глубинные 121, 162, 168
П. компенсационные 170
П. техногенные 159

Разлом глубинный 9, 10, 116, 119,
126, 139
Р. рудоконтролирующий 162
Р. сверхглубинный 116
Район тектонический 196
Районирование геологическое 131
Р. палеотектоническое 137
Р. платформенно-геосинклинальное 151
Р. тектоническое 127, 132, 136—139,
140, 144, 145
Р. т. объемное 143
Р. т. «плоское» 143
Ранг слоя 96
Регрессия 14
Режим тектонический 139
Р. геосинклинальный 135
Реконструкция генетического типа 174,
178, 185
Р. палеогеографические 17, 178
Р. историко-геологические 174
Р. палеовулканические 14
Р. палеоклиматическое 14
Р. палеотектонические 17, 137
Р. ретроспективные 174
Рельеф тектонический 191
Решетка структурная 73, 81
Ритм флишевый 180
Ритмичность 97
Р. слоев 97
Ряд формаций 11, 146
Р. формационный 9

Сброс 31, 116, 117, 157, 165, 168, 191
Свита 96
Свод 28
Связь вандерваальсовская (остаточная)
73
С. ионная 72
С. ковалентная 72
С. металлическая 72
Связи системообразующие 17

- Сдвиг 117, 118, 121, 157, 168
 Серия 96
 Сжатие решетки 74
 Силлы 147
 Синеклиза 29, 58, 69
 Синклез 96
 Синклиналь 121
 Синхронизация 97, 177
 Система 31
 С. геологическая 31
 С. г. динамическая 17, 18—26, 194
 С. г. ретроспективная 17—26, 178, 194
 С. г. статическая 17—26, 160, 194
 С. геосинклинальная 69, 87, 131, 153, 154
 С. г. эпикратонная 151
 С. динамическая 159, 160, 163, 17—26
 С. д. элементарная 159
 С. методологические 23
 С. резкостных границ 51
 С. ретроспективная 17—26
 С. складчатая 153, 165
 С. статистическая 17—26
 Складка 31, 94, 165
 Складки диапировые 123
 Складчатость 101
 С. дисгармоничная 123
 С. линейная 151
 С. основная 135
 Сланцеватость 91
 Слой 31, 85, 87, 88, 92, 93, 114, 119
 С. континентальный 142
 С. сложный 96
 Состав формационный 158
 Стратиграфия 5, 6
 Стратисфера 94
 Структура 11, 82, 87
 С. блоковая 119
 С. геологическая 68—72
 С. геологического тела 81
 С. гипогенная 114
 С. дизъюнктивная 86
 С. земной коры 10
 С. и текстура в петрографии 68
 С. кристаллическая 68
 С. логическая 81, 87, 89
 С. осадочной оболочки 121
 С. системы 13
 С. складчатая 121—122
 С. слоистая 84, 90, 91, 93—95, 107, 114, 115, 119
 С. с. глубинная 107
 С. с. сферическая 90
 С. статическая 16
 С. тектоническая 68, 190
 С. локальная 191
 С. наложенных формаций 78
 Ступени гравитационные 118
 Субгеоантиклиналь 28
 Тектоника 6—10
 Т. коры 6, 8
 Т. экспериментальная 20
 Тектоносфера 7
 Тело геологическое 53—55, 95, 97, 117, 124, 184
 Т. г. дизъюнктивное 54
 Т. г. произвольное 54
 Т. г. простое 56
 Т. г. резкостное 54
 Т. г. сложное 57
 Т. г. составное 57, 81
 Т. г. условное второго типа 54
 Т. г. у. первого типа 54
 Т. г. у. третьего типа 54, 184
 Т. инъективное 116
 Т. литологическое 102
 Т. нарушенное 54
 Т. пересечения 54
 Т. породное 144
 Т. резкостное 54
 Т. р. нарушенное 54
 Тип формаций 138
 Толща 31, 92, 96
 Т. слоистая 190
 Трансгрессия 14
 Трубка вулканическая 157
 Фаза платформенная 141
 Факторы палеогеографические 189
 Фации 144, 178, 180, 181, 183
 Ф. абиссальные 180
 Ф. геохимические субаквальные 181
 Ф. дельт 181
 Ф. континентальные 181
 Ф. лагунные 181
 Ф. мелководные 181
 Ф. морские 181
 Ф. гипабиссальные 180
 Фация сидеритовая 181
 Ф. фузулиновых известняков 181
 Ф. шамозитовая 181
 Ф. штаффелловых известняков 181
 Фациальная зона 183, 184
 Ф. тело 184
 Ф. условия 178
 Флексура 191
 Флиш 179
 Форма пликативная 124
 Ф. структурная 23
 Ф. тектоническая 94
 Ф. складчатые 30
 Формация аридная 146
 Ф. аспидная 149
 Ф. вулканогенная 154
 Ф. геологическая 9, 10, 31, 130, 138, 144, 162
 Ф. геосинклинальная 11, 135, 146
 Ф. граувакковая 149

Ф. гумидная 146
 Ф. джеспилитовая 154, 157
 Ф. карбонатная 155
 Ф. континентальная 146
 Ф. лагунная 146
 Ф. магматическая 110, 147
 Ф. молассовая 157
 Ф. морская 146
 Ф. орогенная 11
 Ф. осадочная 149
 Ф. осадочно-вулканогенная 14, 144
 Ф. офиолитовая 149
 Ф. переходная 146
 Ф. платформенная 11, 146, 158
 Ф. рифтовых и пелитоморфных известняков 149
 Ф. спилито-кератофировая 149, 157
 Ф. трапповая 10, 149
 Ф. угленосная 10, 157
 Ф. устойчивых областей 169
 Ф. флишевая 10, 157
 Ф. яшмовая 146, 154

Характеристики взаимосогласные 50
 Х. согласные 50

Цикличность 97

Чехол платформы 120
 Ч. п. древней 156
 Ч. п. молодой 129, 156

Швы структурные 109
 Шарнир складки 28
 Шарьяж 157
 Шкала стратиграфическая 106
 Ш. хроностратиграфическая 178
 Шток 147

Эвгеосинклиналь 155
 Эволюция тектоническая 141
 Эврилитема 96
 Э. слоистой структуры 91
 Э. структурный 81—85, 129, 130, 135, 136, 151, 154, 155, 156
 Элементаризация пространства 65—67
 Эпейролитема 96
 Эпиболи 93
 Этаж структурный 11, 87, 116, 138, 143, 144, 147, 151, 155

Ярус структурный 11, 156

Именной указатель

Ажгирей Г. Д. 69, 92
Арган Э. 141
Аскеров Ф. А. 76
Архангельский А. Д. 27, 28, 92, 135,
140, 141, 152, 153

Бакиров А. А. 59
Беликов Б. П. 76, 77
Белусов В. В. 6, 7, 12, 15, 27, 28,
31, 59, 141, 148
Бисли Э. 99
Богданов А. А. 157
Борисяк А. А. 141
Борукаев Ч. Б. 71
Бубнов С. Н. 27
Буллен К. Э. 108
Бушинский Г. И. 181

Ван-Беммелен Р. В. 112
Вассоевич Н. Б. 96
Вернадский В. И. 38, 94
Вегенер Л. 141
Вистелиус А. Б. 34
Войновский-Кригер К. Г. 59, 60
Воронин Ю. А. 3

Гзовский М. В. 136
Гогель Ж. 7, 14, 27
Головкинский Н. А. 97, 105
Горшков Г. С. 170
Гутенберг Б. 108, 110, 161

Данбар К. 97
Денисов Н. Я. 76
Добрецов Н. Л. 183
Дэна Д. 133
Дюбертре Л. 27

Елисеев Н. А. 91

Жемчужников Ю. А. 92

Заварицкий А. Н. 6, 22, 27
Зубкович М. Е. 96
Зюсс Э. 94

Ибн-Сина 179
Ирдли А. 29

Келлер Б. М. 96, 102
Клубов В. А. 59
Князев Г. И. 126
Косминская И. П. 108
Косыгин Ю. А. 3, 7
Красный Л. И. 31
Криштофович А. Н. 27, 97, 101
Кропоткин П. Н. 1, 7
Крумбейн В. К. 98, 105, 112
Кузнецов Ю. А. 146
Кузьмин А. М. 190
Кулиев С. М. 76
Кэй М. 27, 29

Левинсон-Лессинг Ю. Ф. 70, 73, 144,
160
Левый Н. В. 110
Леонов Г. П. 5, 96
Лис Д. М. 167
Лонгвелл К. Р. 27

Максвелл Д. К. 171
Монтессю де Боллор 167

Наливкин Д. В. 146
Науман К. 6
Неттлетон Л. 171
Нехорошев В. П. 102
Никифоров И. А. 59
Николаев Н. И. 27
Ньютон И. 29

Обуэн Ж. 27
Ог Э. 3, 14, 28, 30, 33, 133
Островский И. А. 111

Парфенов Л. М. 71
Пейве А. В. 117, 122
Попов В. И. 31
Пэк А. В. 7

Роджерс Дж. 98
Родионов Д. А. 34
Розанов Л. Н. 59
Рухин Л. Б. 146

Салин Ю. С. 101, 103
Сапожников Д. Г. 27
Смит У. 175
Синицын Н. М. 59
Слосс Л. Л. 98, 105, 182
Соловьев В. А. 3, 71
Солоненко В. П. 168
Степанов Д. Л. 98
Страхов Н. М. 141—142, 144

Тараканов Р. З. 109
Теодорович Г. И. 181
Тернер Ф. Дж. 161
Тетяев М. М. 3, 6, 8, 58, 115, 122
134, 135
Трусов Ю. П. 38

Уилер Г. 99

Ферхуген Д. 161
Фор-Мюрэ А. 27

Хаин В. Е. 7, 12, 31, 68, 69, 97, 119,
152, 153
Хедберг Х. 176
Холл Дж. 133
Хоменко И. П. 101

Шамсиев А. А. 76
Шатский Н. С. 6, 8, 27, 28, 30, 33,
58, 115, 122, 135, 140, 142, 144,
153—155
Шейнманн Ю. М. 108, 134, 152
Шнеерсон Б. Л. 171
Штауб Р. 141
Штилле Г. 27, 117, 122, 123, 134, 141.
Штрейс Н. А. 30
Шубер Ю. 27
Шухерт Ч. 27

Яковлев С. А. 14, 15
Яншин А. Л. 134
Ярош А. Я. 118

Содержание

Предисловие	3
Определение тектоники	5
Анализ существующих определений	6
Конструктивное определение	10
Функциональные связи	11
Системные исследования в геологии и тектонике	13
Статические, динамические и ретроспективные системы	18
Методологические системы	20
Язык тектоники и проблема математизации	27
Состояние тектонической терминологии	27
Термины и системы понятий	28
Применение математических методов в геологии	33
Статические системы	38
Геологическое пространство	38
Геологические границы	45
Геологические тела	53
Выделение геологических тел и их типы	53
Описание геологических тел	55
Элементаризация геологического пространства	65
Геологические структуры	68
Исследование геологической структуры с учетом системного подхода	72
Структура в учении о кристаллах	72
Горные породы	73
Слоистые системы и наслоенные геологические формации	77
Осадочная оболочка	78
Геометрический подход в исследовании геологических структур	81
Определение структуры геологического тела	81
Структурные элементы и включения	83
Основные свойства и геологическая природа структуры	84
Структуры с учетом дизъюнктивных границ и дизъюнктивные структуры	85
Описание геологических структур	86
Существующие способы и методика описания структур	87
Слоистая структура	90
Основные определения	90
Определение понятия «слой»	92
Осадочная оболочка и особенности ее слоистой структуры	94
Построение полноопределенного пространства в осадочной оболочке	95
Описание разреза	95
Расчленение разреза	95
Стратиграфическая корреляция и синхронизация	97
Установление стратиграфического горизонта	98
Стратиграфическая корреляция по несобственным признакам	98

	215
Описание полноопределенного пространства в осадочной оболочке . . .	104
Глубинные слоистые структуры	107
Основные элементы слоистой структуры земной коры и мантии по скоростям прохождения упругих волн	108
Истолкование сейсмических слоев и границ	109
Подвижность сейсмических границ	112
Дислокации слоистой структуры	114
Дизъюнктивные дислокации	116
Пликативные дислокации	120
Инъективные дислокации	122
Тектоническое картирование	128
Тектоническое районирование по различным признакам	132
Особенности выделения структурных элементов осадочной оболочки Земли по структурно-вещественным признакам	138
Типы структурных элементов осадочной оболочки	144
О легендах тектонических карт	155
Динамические системы	159
Геологические процессы	159
Экспериментальные исследования геологических процессов	164
Современные движения земной коры	166
Ретроспективные системы	174
Типы ретроспективных реконструкций	174
Геологическое время	174
Реконструкции генетического типа	178
Реконструкции историко-геологического типа	185
Реконструкции тектонических движений	186
Заключение	194
Список литературы	197
Предметный указатель	207
Именной указатель	212

Юрий Александрович
КОСЫГИН

Основы тектоники

Редактор издательства Т. А. Горохова
Художник А. Д. Смеляков
Художественный редактор В. В. Евдокимов
Технический редакторы А. Г. Иванова,
Е. С. Сычева
Корректор Т. Ю. Шульц

Сдано в набор 4/III 1974 г.
Подписано в печать 14/V 1974 г. Т-10032
Формат 60×90^{1/16}
Бумага для глубокой печати
Печ. л. 13,5 Уч.-изд. л. 15,68
Тираж 11 300 экз.
Заказ № 891/4731—1 Цена 1 р. 28 к.

Издательство «Недра», 103633, Москва,
К-12, Третьяковский проезд, 1/19

Ленинградская типография № 6
Союзполиграфпрома при Государственном
комитете Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии
и книжной торговли
193144, Ленинград, С-144,
ул. Моисеенко, 10

1p. 23k

REC'D 1974

1 р. 28 к.



ИЗДАТЕЛЬСТВО "НЕДРА"
МОСКВА ● 1974

18434