# ТЕКТОНИКА

Ю.А.КОСЫГИН

Ю.А.КОСЫГИН

# ТЕКТОНИКА

3-е ИЗДАНИЕ,
ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ

5107

МОСКВА "НЕДРА" 1988

УДК 551.24

**КОСЫГИН Ю. А.** Тектоника.— 3-е изд., перераб. и доп.— М.: Недра, 1988, 462 с.: ил.

Рассмотрена методология тектонических исследований. Проанализирована геологическая структура гипергенной оболочки Земли; освещены вопросы глубинной тектоники, тектоники докембрия. Обсуждены основные тектонические проблемы геологии дна океанов, проведен критический анализ современных геотектонических гипотез. Уделено внимание тектоническим закономерностям размещения полезных ископаемых. В данном издании (2-е изд. 1983 г.) шире развиты представления о глубинной тектонике, тектонике раннего докембрия и океанов.

Для научных работников, изучающих тектонику и геотектонику; будет полезна студентам геологических факультетов вузов и университетов.

Табл. 1, ил. 21, список лит. — 39 назв.

Рецензент: *И. А. Шило*, академик АН СССР

К $\frac{1904010000-007}{043(01)-88}$ 55—88

ISBN 5—247—00226—1

© Издательство «Недра», 1983, с изменениями

© Издательство «Недра», 1988, с изменениями

По сравнению со вторым изданием 1983 г. в книгу внесены существенные уточнения и дополнения.

В первую главу «Вопросы методологии» включен новый раздел «Принципы выделения структурных элементов в связи с тектоническим картированием». Последний помещен после рассмотрения понятий геологического пространства, геологических границ, тел и структур, что способствует приближению теоретических и логических разработок к практическим целям тектонического картирования. Уточнено понятие геологического континуума, чем намечена общность проблем геологического времени и вещества.

Вторая глава так же, как и во втором издании, посвящена слоистым структурам. Более кратко изложены вопросы соляной тектоники. Введено понятие об инъективных дислокациях флюидного происхождения.

В третьей главе «Тектоника континентов и океанов» дана расширенная характеристика океанических областей.

Четвертая глава посвящена тектонике докембрия; в ней использован материал доклада автора на сессии Тектонического комитета 1984 г. с данными о возрасте Земли и Вселенной.

Пятая глава «Динамическая тектоника» дополнена соображениями о роли космических воздействий в тектоническом механизме Земли и о связи движений в мантии и структурообразования в земной коре. Материалом послужили доклады автора на сессиях Тектонического комитета 1983 и 1986 годов.

В шестой главе, посвященной глубинной тектонике, рассмотрены с различных позиций тектонические процессы в пространстве, соответствующем низам земной коры и зоне Мохо, а также дан критический обзор новейших тектонических гипотез, включая гипотезу изначально гидридной Земли.

В заключении освещена роль тектоники в поисках полезных ископаемых.

Автор выражает глубокую признательность Н. В. Бердникову, Ф. А. Воробьеву, А. А. Врублевскому, Л. П. Карсакову, Г. Л. Кирилловой, Ю. Ф. Малышеву, Л. А. Маслову, А. Н. Пересторонину, В. А. Попеко, Л. И. Попеко, В. С. Приходько, О. В. Равдоникас, Н. П. Романовскому, Ю. С. Салину, В. И. Синюкову и Р. Ф. Черкасову за ценные замечания, Б. Б. Виногродскому, Л. Е. Волошенко и А. М. Копыловой за помощь при подготовке рукописи.

# ГЛАВА I
# ВОПРОСЫ МЕТОДОЛОГИИ

Понятие *тектоника* определялось ранее по-разному. В книгах автора 1952, 1958, 1969, 1974 и 1983 годов: соответственно — «Основы тектоники нефтеносных областей», «Тектоника нефтеносных областей», «Тектоника», «Основы тектоники», «Тектоника» (издание второе, дополненное и переработанное) этот вопрос был подробно рассмотрен. Тогда был сделан вывод, что *объектом* тектоники как науки является твердая Земля в целом. Ограничения этого понятия являются несостоятельными. Так, нельзя объект тектоники ограничивать «земной корой» или структурами, возникшими за счет механических процессов или же эндогенных воздействий. Земля представляет единый механизм, и корни ее структурных форм, наблюдаемых на поверхности, могут проникать очень глубоко, а силы, действующие в Земле и обусловленные как внутренними процессами, так и внешними влияниями, весьма разнообразны. В тектоническом процессе одни виды энергии превращаются в другие: они являются, так сказать, конвертируемыми. Механическая энергия порождает тепло, накопление тепла приводит к расплавлению горных пород (или земного вещества вообще), движение расплавов вновь оказывает механическое воздействие на окружающие породы и вышележащие пласты. Существует представление о генерировании значительного количества тепла за счет распада радиоактивных элементов. Существенную роль играет химическая энергия, к которой относится и энергия кристаллизации. К этой широкой гамме типов энергии, преображающей лик Земли и создающей ее тектоническую структуру, принадлежит, а может быть и доминирует среди остальных типов гравитационная энергия. Сюда относится само существование Земли с ее фигурой гидростатического равновесия, а также разнообразные тектонические явления, связанные с гравитационной тектоникой. Можно указать биогенные источники энергии: рост кораллов или других организмов, создающих огромные рифовые массивы, представляющие собой геологические тела и структурные формы. Человеческой деятельности обязаны прогибы под городами, шахтными и нефтепромысловыми участками и многое другое.

Таким образом, объект тектоники не ограничивается какими-либо объемами Земли, меньшими, чем сама Земля, и не ограничен каким-либо типом энергии, так как все они взаимно связаны и конвертируемы. Объектом тектоники в узком смысле является вся твердая Земля. В тектонике структура и вещество Земли тесно связаны, и рассуждения о структуре беспредметны, если не имеется в виду вещество. Тектонику можно охарактеризо-

вать как синтез геологических знаний и одновременно как структурную канву для такого синтеза, служащую необходимым «причалом» для многих и разнородных геологических построений, гипотез, в том числе для самого широкого диапазона практических прогнозов. В тектонике широко используются данные о веществе, а также геофизика твердой Земли. Тектоника оперирует не только с телами, но и с полями, поскольку существование их связано с Землей, и они не только отражают геологическую структуру, но и чутко реагируют на ее изменения, а также на внутриземные процессы вообще. В объект тектоники в широком смысле мы включаем кроме твердой Земли также геосферы, непосредственно связанные с геологическими процессами (гидросфера, атмосфера, биосфера, антропосфера, техносфера, ноосфера и другие), их взаимоотношения и взаимосвязи. Включение подвижных геосфер предусматривает флюидные системы, без учета которых суждение о строении и развитии Земли не может быть полным, имея в виду повсеместность распространения флюидных систем, а также пространственные и временные взаимопереходы, связывающие их с твердыми (каркасными) системами Земли. В объект тектоники по мере развития космических исследований включаются планетные тела прежде всего земной группы.

*Предметом тектоники* являются как сам объект, так и модели, которые используются в процессе тектонических построений.

Цели тектонических исследований включают выяснение строения отдельных участков и Земли в целом, особенностей генезиса и развития геологических объектов. Историко-геологические и генетические реконструкции являются вероятностными, но входят в цель наших исследований. В достижении этой цели тектоника тесно «сплавляется» с другими геологическими дисциплинами и прокладывает мост от геологии к планетологии и астрономии.

## ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ РАЗВИТИЯ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ МЫСЛИ

После работ А. Вернера и В. Смита, обобщивших огромный по тому времени геологический материал по территории Европы, появились труды Леопольда фон Буха, которым в общем соответствовали идеи А. Гумбольдта. В основе его научной концепции лежало вулканическое происхождение гор. По М. Неймайру, это представляло громадный шаг вперед в развитии и геологии (тектоники). Леопольд фон Бух выясняет главные направления кряжей и намечает пути дальнейших их исследований.

Эли де Бомон развивал идеи Леопольда фон Буха и впервые наметил возможность определения возраста, идентифицируя геологические отложения, слагающие горы и горизонтально залегающие отложения на их периферии. Он считал, что проходящие в различных направлениях горные системы, намеченные еще Леопольдом фон Бухом, являются разновременными при одновременности формирования параллельных хребтов. В результате воз-

никла концепция о последовательности образования горных систем, чем и было заложено начало контракционной гипотезы, по существу отрицающей исходные идеи Леопольда фон Буха. Эли де Бомон полагал, что поднятие гор соответствовало переворотам, уничтожавшим животную и растительную жизнь, а это соответствовало идеям Ж. Кювье.

Эли де Бомон на основании исследования горных систем пришел к первой явной формулировке контракционной гипотезы. После идей вулканического происхождения гор и высказываний о кратерах поднятия контракционная гипотеза явилась новым этапом в развитии тектонической мысли. Эли де Бомон считал, что первоначально расплавленная Земля остывает и сокращается. В результате остывания на поверхности Земли образуется тонкая твердая земная кора; при продолжении остывания земная кора «отстает» от основного тела Земли, что ведет к разломам и обрушению ее. Тангенциальные напряжения при этом ведут к возникновению горных кряжей. Контракционная гипотеза значительно усовершенствована Эдуардом Зюссом. А. П. Карпинский назвал ее «счастливейшим завоеванием научной геологической мысли». Канон орогенических фаз Г. Штилле является прямым продолжением этого направления. Затем контракционизм начал сменяться новыми тенденциями в развитии геологической мысли.

В 30-х годах нашего столетия в связи с широким развитием бурения и промышленных разработок, главным образом нефти и каменного угля, были получены многочисленные данные по разрезам отложений, изменениям их мощностей и приуроченности этих отложений к структурным формам. Впоследствии тектонические формы, развивавшиеся одновременно с осадконакоплением, стали называться конседиментационными (С. С. Шульц). Мощности, как хорошо доступные измерению конкретные величины, стали считаться мерой вертикальных тектонических движений. Большие мощности указывали на большие прогибания и т. д. Возникла концепция Хаармана о геотуморах и геодепрессиях. В. В. Белоусовым была проделана большая работа по составлению карт мощностей различных толщ Большого Кавказа, а позднее им и другими исследователями — для Восточно-Европейской платформы и многих других районов. Естественно, метод мощностей подвергся многим справедливым нареканиям («комплексы заполнения», различные степени компенсации прогибов осадками и т. д.). Интересно, что эти замечания не ставили под сомнение прямой связи мощностей с вертикальными или «колебательными» движениями, и основы метода, таким образом, нисколько не были подорваны. Вертикальные движения можно было количественно выводить из мощностей и реконструировать, таким образом, тектоническую историю крупных участков континентов, устанавливать появление, миграцию и вырождение прогибов, смену их поднятиями и т. д.

Речь шла по существу о вертикальной компоненте тектониче-

ских движений, но это обстоятельство обычно не принималось во внимание. В результате создавалась стройная концепция доминирующей роли вертикальных движений в развитии Земли и представление о том, что горизонтальные движения и деформации (сжатые складки, надвиги и т. д.) играют подчиненную роль. Концепция приоритета вертикальных движений, развивавшаяся в 40-х и 50-х годах, стала почти общепризнанной.

Начиная с конца 50-х — начала 60-х годов господствующая тектоническая гипотеза «вертикализма» в связи с новыми данными палеомагнетизма и исследованиями дна океанов постепенно уступила свое место тектонике плит, утверждающей *несомненный* приоритет горизонтальных движений. Таким образом, возникла очередная волна в развитии тектонической мысли. Это вполне законно. Совершенно понятно также и то, что не только основоположники гипотезы «литосферных плит», но и сугубые «вертикалисты» коренным образом изменяли свои представления.

Концепция тектоники плит в настоящее время очень интересно и разносторонне разрабатывается, способствуя дальнейшему развитию научной геологической мысли.

Такое волнообразное развитие геологической науки вполне закономерно и неизбежно. Остановка его так же невозможна, как остановка научного прогресса. Поэтому следует стараться сочетать достижения современной научной мысли с перспективами близкого и далекого будущего.

## ТЕРМИНЫ И СИСТЕМЫ ПОНЯТИЙ

Строгое рассмотрение основных положений любой науки не может быть достигнуто без продуманной терминологической базы. Прежде всего должен быть установлен порядок в системе: объект — имя (термин) — понятие (определение понятия). Каждому понятию должно соответствовать единственное имя, а каждому имени — вполне определенное понятие, т. е. между понятием и термином должно существовать взаимно-однозначное соответствие. Однако в действительности оно далеко не всегда однозначно; нередко мы встречаемся с многозначностью терминов (один термин означает несколько понятий) или их множественностью (одному понятию соответствует несколько терминов). В таком случае исследователям трудно находить общий язык. Правда, можно в каждом конкретном случае пояснять, какой смысл вкладывается в тот или иной термин, но это будет занимать много времени и мешать его рациональному использованию. Эффективность научных дискуссий при многозначности и множественности применяемых терминов резко снижается. Еще более тяжелыми являются «терминологические» споры, когда их участники отстаивают свою истину, не раскрывая особенностей своего языка. В тектонике с терминологией давно сложилась такая обстановка, которую К. Р. Лонгвелл охарактеризовал как «сумасшедший дом», а Н. С. Шатский — как «несусветный хаос». На ненормальное

состояние геологической, в частности тектонической, терминологии указывали также А. Н. Криштофович, А. Д. Архангельский, А. Н. Заварицкий, Н. И. Николаев, А. Фор-Мюре, Ю. Шубер, Ж. Обуэн, Ж. Гогель и многие другие. Составлялись словари и создавались многочисленные терминологические комиссии. Однако оказалось, что тектоническую терминологию очень трудно подчинить какому-либо Кодексу. Она продолжает оставаться на уровне «конгломерата» местных наречий и не доходит до высот общенационального литературного языка.

Здесь надо обратить внимание еще на одно немаловажное обстоятельство. Научные термины нельзя рассматривать как единичные имена (например, личные имена людей или географические названия). Они должны быть связаны в системы. Однако сами термины представляют собой лишь индексы, символы или знаки, которые могут по договоренности заменяться другими. Очевидно, нельзя говорить о непосредственной логической связи терминов. В то же время каждому термину соответствует определенное понятие (только одно при упорядоченности языка), понятия же осмыслены, связаны друг с другом, соподчинены, иными словами, могут быть объединены в логические системы. Отсюда следует, что системы терминов обязательно должны базироваться на системах понятий. Системы понятий органично связаны с пониманием сущности, с осмысливанием природных явлений и процессов, а наложенные на них системы терминов являются знаковыми, обозначающими. Система терминов не может существовать без системы понятий.

Упорядочение терминологии — задача далеко не простая. Одним из путей ее разрешения является составление словарей; здесь имеются в виду обычные словари, где каждому термину дано единственное определение, т. е. ему поставлен в соответствие определенный смысл. В таких словарях выбираются определения, которые или представляются наиболее общепринятыми, или же определения, сформулированные авторитетными учеными. Термины, поскольку им даны определения, связаны с понятиями, но сами понятия, как правило, не образуют единых систем; иначе говоря, понятия не связаны логически друг с другом. Это, к сожалению, при составлении словарей вообще никогда не учитывается.

В геологическом словаре-двухтомнике, изданном в 1978 г., дано 62 определения разновидностей фации. Естественно, чтобы связать эти многочисленные определения в единую логическую систему, необходимо было бы дать определение родового понятия «фация» и через него определять все видовые, более частные понятия. Однако такого определения не дано, и отдельные фации определяются или через комплексы, или через парагенезы, или через горные породы, совокупности пород, обстановки, условия, участки. Очевидно, здесь мы имеем случайный, никак не упорядоченный набор определений. В «Кратком русско-французском толковом геологическом словаре» В. А. Тимофеева, изданном в 1978 г., так,

например, определяется понятие «замкнутое море». Это — море типа Каспийского или Аральского моря. Приведенные примеры показывают, насколько несовершенным орудием упорядочения терминологии являются современные геологические словари.

Существует другой путь упорядочения терминологии и установления единого научного языка. Так, некоторые исследователи, в основном преподаватели, пытались в своих лекциях и книгах предложить некоторую систему имен, как-то логически связанных друг с другом по смыслу, которая могла бы дать хотя бы частичное решение проблемы единого геологического языка. Нельзя не приветствовать огромный и весьма благонамеренный труд тектонистов Д. Н. Соболева, В. И. Попова, М. М. Тетяева и В. В. Белоусова, а также значительную работу в этом плане В. Е. Хаина. Но здесь есть одно «но». Язык, разработанный автором, большей частью вполне удовлетворял его самого и, может быть, небольшую группу его непосредственных последователей и учеников, но совершенно не воспринимался ни основной массой исследователей и геологов-практиков, ни другими «лидерами» в науке и, таким образом, не становился общим языком. Создавались так называемые «автономные» системы терминов. Кстати сказать, эти «автономные» терминологические системы, предложенные отдельными исследователями, выгодно отличаются от набора слов в словарях тем, что обладают смысловыми связями.

Малоэффективными были пока и работы всех терминологических комиссий по тектонике. Такие работы были нерадикальными и оставались незавершенными.

В настоящее время осуществляется большая работа по инвентаризации геологических терминов (в области тектоники, стратиграфии, формаций, палеовулканологии), заключающаяся в сборе рассеянных в литературе многочисленных определений и их анализе (сопоставление, выяснение преимуществ, выделение синонимов и омонимов). Можно было бы думать, что в конце концов эта задача будет выполнена и даст надежную основу для окончательной стандартизации. Однако появляются новые факты, новые понятия и новые теории, а с ними совершенно неизбежны и новые термины. Для того чтобы систему терминов привести в окончательное полное соответствие с наукой, есть только один путь — остановить научный прогресс. Таким образом, идеальная ситуация в терминологии недостижима.

Тем не менее путь инвентаризации терминов, хотя эта работа и не имеет видимого конца, является единственно реальным. Только таким образом можно подойти к созданию хоть и временных, но и отвечающих современным требованиям терминологических систем.

В 1951—1952 гг. автор совместно с В. Н. Соболевской и Д. Н. Туголесовым начал инвентаризацию терминов в Геологическом институте АН СССР. При этом выяснилась удивительная многозначность терминов, знание которой позволило по-новому подойти к чтению литературы. Если раньше создавалось впечатление,

что многие авторы «заблуждаются», употребляя имена не в том смысле, как это представляет читатель, то теперь выяснилось, что каждый по-своему прав. Каждый автор придает термину особый смысл, термин является лишь знаком, о применении которого надо условиться. Поэтому термины могут быть не столько «правильными» и «неправильными», сколько общепринятыми и необщепринятыми.

С 1958 г. эта работа была возобновлена в Новосибирске. При этом ставилась задача охвата всех тектонических терминов, определение понятий которых можно встретить в литературе на русском языке, включая журнальные статьи. В результате в 1963 и 1964 г. увидели свет три выпуска «Материалов по тектонической терминологии» под редакцией Б. Н. Красильникова, Л. М. Парфенова и автора, а в 1970 г. был опубликован труд еще более капитальный — «Справочник по тектонической терминологии». В последующие годы вышла в свет целая серия справочников по тектонике, геоморфологии и палеовулканологии.

Последними в этой серии явились созданный по инициативе Ю. С. Салина двухтомный терминологический справочник «Общая стратиграфия» (1979 г.) и «Рудные и рудоносные формации» (1983 г.) и «Геологические тела» (1986 г.).

Работа над созданием учебных курсов и подготовка учебных пособий, охватывающих целую отрасль науки, заставляет внимательно относиться не только к формулировкам определения понятий, но и к связям понятий, к их системам. Подобно тому как в геометрии существует система аксиом, на которых покоится все ее здание, в геологии существуют понятия, имеющие некоторый начальный смысл. Так, в лекциях и книгах по тектонике мы часто применяем слово «структура» как нечто само собой разумеющееся. Однако, если вдуматься в значение этого термина, все оказывается более сложным. Прежде всего он выражает широкий спектр понятий. Надо выбрать одно из них, чтобы избежать противоречивости в дальнейших построениях. Затем следует раскрыть содержание этого понятия. Использование понятия «структуры» обязывает нас говорить об образующих ее элементах — структурных элементах или геологических телах (пластах, прожилках, линзах, массивах и т. д.). Чтобы определить геологическое тело, надо ввести понятие «границы», в нашем случае геологической границы. Определить, что такое геологическая граница, оказалось не так-то легко. Толкования этого понятия в геологической литературе до 1964 г. просто не было. Задача оказалась настолько непростой, что пришлось привлечь к ее решению математиков. Данное в начале исследований этого вопроса (1964 г.) определение геологической границы вообще оказалось неудовлетворительным; пришлось выделить несколько типов границ, построить их классификации.

Далее были введены понятия геологического пространства, геологического тела, простого и сложного, геологической структуры и некоторые другие, названные *фундаментальными*.

## ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОСТРАНСТВО

В качестве фундаментальных понятий тектоники, а вернее геологии вообще, принимаются понятия о геологических телах и геологических границах. Они фундаментальны потому, что на них базируются представления о геологических структурах любой сложности. Тела и границы выделяются в пространстве, которое было названо *геологическим пространством*. Этим термином обозначается пространство, занятое планетой Земля в целом или любой ее частью. При его исследовании следует использовать геоцентрическую систему координат, причем начало координат должно быть жестко привязано в какой-либо точке нашей планеты. При глобальных построениях удобно помещать начало координат в центре Земли, а при региональных — в любой точке ее дневной поверхности, поверхности уровня моря или другой поверхности, удобной по тем или иным соображениям. Геоцентричность координат делает тектонические построения независимыми от вращения Земли и движения ее в космосе. В топологическом отношении геологическое пространство не является непрерывным, оно скорее дискретно, т. е. при достаточном сгущении точек наблюдения мы попадаем в тело кристалла или зерна, где сталкиваемся с минералогическими и кристаллографическими законами построения структуры, выходя, таким образом, за сферу геологических (тектонических) построений. Короче говоря, геологическое пространство представляет собой дискретное множество точек, максимальная степень сгущения которых определяется расстояниями между центрами масс частиц, образующих горную породу.

Геологическое пространство является трехмерным пространством, в котором границы двумерны, поскольку мерность границ на единицу меньше мерности пространства. Однако в тектонических построениях широко используются двумерные модели геологического пространства (например, карты и профильные разрезы) с одномерными границами, а также одномерные модели (разрезы скважин, стратиграфические колонки) с нольмерными границами, обозначаемыми точками.

Поскольку в повседневной геологической практике, укладывающейся в рамки продолжительности человеческой жизни, мы имеем дело с весьма незначительными изменениями геологической структуры, мы можем в своих построениях использовать неподвижное метрическое, геологическое пространство, которое изображаем на геологических картах, разрезах и другой специальной графике (геофизические, геохимические, денситометрические и иные модели). Такое «неподвижное» пространство в наших публикациях 1964—1974 гг. определялось как «статическое пространство». Однако эпитет «статическое» здесь неправомерен, и от него пришлось отказаться, поскольку он предполагает равновесие, а в данном случае имеет место как бы моментальный фотографический снимок неравновесного в общем процесса. Проиллюстрируем это простейшей формулой кинематики — $S = Vt$. В случае стати-

ческого пространства $S=0$, $V=0$, а $t$ представляет собой любую величину, соответствующую длительности существования статической системы. В случае же «моментальной фотографии» $S=0$, $t=0$, а $V$ представляет собой неопределенность; иными словами, каждая точка нашей модели может двигаться, но скорость ее нам остается неизвестной. Поэтому наше «неподвижное» пространство будем называть *квазистатическим геологическим пространством*, в противоположность динамическому геологическому пространству, в котором геологические тела и границы могут находиться в движении и изменении. К понятию о динамических пространствах мы в дальнейшем обращаться не будем, квазистатическое же пространство будем называть просто геологическим пространством.

По математическому определению пространство — это множество точек. Это относится и к геологическому пространству. Оно может быть представлено множеством точек, в каждой из которых определены какие-либо свойства вещества. Однако свойств может быть очень много (плотность, магнитная восприимчивость, химический состав, содержание какого-либо элемента или изотопа, палеонтологические остатки, пористость, проницаемость и т. д.). Необходимо определенное однообразие точек в смысле определенного списка измеряемых в них свойств, а также ограничения количества точек, в которых производятся измерения. Все это диктуется, в частности, соображениями экономичности. 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. В результате ограничения числа точек наблюдения мы можем представить себе изучаемое геологическое пространство как конечное множество точек. В процессе любого исследования не может быть изучена вся совокупность 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 ограничиться рассмотрением только какой-либо одной разновидности фауны и 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, так как измерение различных совокупностей свойств в различных точках пространства делает его неконструктивным. Необходимым требованием является также то, чтобы во всех точках свойства были бы измерены с одинаковой точностью.

Геологические пространства могут быть специализированы по совокупности свойств, которые изучаются при специальном исследовании. *Специализированными геологическими пространствами* могут быть биостратиграфическое, петрографическое, геохимическое, гравиметрическое, геотермическое 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.

Правило однородного описания точек по фиксированному списку свойств с одинаковой точностью и с одинаковым способом определения этих свойств названо *принципом специализации*, который является краеугольным камнем всех структурных геологических построений. Для одного реального пространства (т. е. фиксированного объема участка Земли или Земли в целом) может быть построено весьма много специализированных пространств, исследование каждого из которых может внести свою лепту в изучение объекта.

Однако все эти данные надо объединить, что достигается комплексностью исследований; как уже говорилось, для этого необходима единая цель в изучении специализированных пространств. Обобщение данных различных специализаций достигается *интерпретацией*, т. е. переводом языка одной специализации на язык другой и сведением в результате таких последовательных процедур, число которых будет отвечать числу специализированных пространств, всех данных к одному специализированному языку или к одному специализированному пространству. В геологии, и в частности, в тектонике, таким специализированным языком, к которому обычно стремятся свести данные других специализаций, является петрографический язык. Наиболее распространенным видом интерпретации в геологии и тектонике является *геологическая интерпретация геофизических данных*.

Геологическое пространство может быть *регулярным* и *нерегулярным*. В первом — точки размещаются по правильной геометрической сети, во втором — беспорядочно и неравномерно. Для геологических построений предпочтительнее регулярное пространство, так как оно обеспечивает равномерность построений для всего пространства. Регулярность пространства может достигаться регулярным расположением выработок или других точек наблюдений (отбора проб, геофизических измерений) или транс-

формированием нерегулярного пространства в регулярное путем интерполяции или других приемов.

Однако не во всех случаях регулярное пространство является оптимальным для решения практической задачи. Регулярность пространства обеспечивает только равномерность исследования, для практических же целей в ряде случаев нерегулярное пространство предпочтительнее. Так, учет особенностей распределения в исследуемом пространстве различных геологических признаков (состав пород и флюидов, проницаемость, трещиноватость, наклоны и изгибы слоев и т. д.) и при необходимости математическая их обработка позволяют запроектировать такую сеть разведочных выработок, которая при ее нерегулярности может более способствовать решению поставленной задачи. В данном случае может идти речь об *оптимизированном нерегулярном пространстве*. Именно на этой основе А. Ф. Белоусов разрабатывает наиболее эффективные сети скважин для разведки нефтяных месторождений.

Очень существенны представления о *неполноопределенном* и *полноопределенном* пространстве. Первое представлено дискретными точками (например, карта фактического материала или точки геофизических измерений, профилей и т. д.), второе — полями сплошной закраски, разделенными или пересеченными границами (геологические, тектонические и другие карты). В полноопределенном пространстве предполагается, что свойства известны в любой его точке. Это достигается путем построений, в значительной степени основанных на интерполяции. Полноопределенное пространство несет в себе, таким образом, элементы гипотез и *прогноза*; оно представляет собой *модель*, а его построение — *процедуру построения модели*.

## ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ГРАНИЦЫ

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

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* (литологической, биостратиграфической, сейсмологической и т. д.). Границы различной геологической природы могут пересекаться.

Одни границы существуют в природе сами по себе, и наше дело — найти их и проследить; положение других, хотя и обусловлено распределением вещества в пространстве, зависит от наших построений. Наконец, есть границы, не зависящие от распределения вещества. Следовательно, границы различаются по их мерности, геологической природе и процедуре их выделения. По мерности выделяются три разновидности, по геологической природе — сколь угодно много, а по процедурам выделения — шесть.

Можно различать шесть классов геологических границ: резкостные, дизъюнктивные, условные первого, второго и третьего классов и произвольные:

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 биозонами, 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, 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.

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 ее геологическую природу; 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, специализированном по одному свойству, может существовать только одна система резкостных границ. Если же пространство специализировано по двум свойствам, то в нем могут существовать три различные системы резкостных границ. В общем случае, когда учитывается n свойств, может существовать $2^n - 1$ различных систем резкостных границ. Естественно, чем их больше, тем сложнее структурные построения. Грубо можно считать, что сложность структурных построений растет как $2^n$, где n — число учитываемых свойств. Перегруженная карта неудобочи-

таема и малоконструктивна. Поэтому при ее построении надо ограничиваться наименьшим количеством свойств и отбирать их с большой осмотрительностью.

В связи с возможностью существования нескольких систем резкостных границ (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, 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 согласна со второй, а вторая согласна с первой. При взаимно согласных характеристиках все выделенные по ним резкостные границы, совпадая друг с другом, образуют единую систему. Поэтому для выделения границ такой системы можно в различных участках пространства использовать различные характеристики, входящие в совокупность взаимно согласных характеристик. Можно 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). В первом случае границы отчетливые, а во втором несколько «размытые».

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 исследований список характеристик, по которым выделяется данная граница, будет расширен, в нем 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 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) с тем, чтобы граница могла бы быть выделена в качестве простой.

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.

Составные границы — 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.

2. *Дизъюнктивные границы* — 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 резкостной границей, а на других такого совпадения может не быть. Если дизъюнктивная граница представлена трещиной со смещением, то на отдельных ее участках могут возникать резкостные границы различной геологической природы. С этим связано прослеживание дизъюнктивных границ по положению сопровождающих их на отдельных участках резкостных границ различной природы. Это в свою очередь означает, что изучение дизъюнктивных границ не должно ограничиваться каким-либо специализированным пространством, а должно проводиться в комплексе специализированных пространств (комплексное изучение глубинных разломов).

3. К *условным границам первого класса* относятся поверхности (линии, точки), на которых отдельные свойства принимают некоторые фиксированные значения. Положим, что для каждой точки рассматриваемого пространства определено содержание рудного минерала. Может возникнуть необходимость оконтурить участок, где содержание рудного минерала превышает 25 %. Граница этого участка будет представлять собой условную границу первого класса, поверхность равного содержания. Возможно, окажется необходимым оконтурить участки с содержанием рудного минерала более 20 %, более 16 % и т. д. Положение и количество таких границ зависят не только от распределения рудного материала и точности измерений, но и от производственных и экономических соображений. Условные границы первого класса — 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, магнитометрических и подобных им картах.

5707

4. *Условные границы второго класса.* 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 неусловной геологической границе, например, выделения антиклинальной складки в пределах изогипсы одного из составляющих ее слоев. К условным геологическим границам второго класса принадлежат изопахиты, поскольку они также отражают геометрические свойства неусловных границ. Нельзя говорить о геологической природе этих границ, так как они непосредственно не связаны с изменением значений свойств вещества. 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 класса, разделяющую поднятое и опущенное крылья флексуры, продолжением которой служит дизъюнктивная граница.

Сравнительно узкие линейные зоны, образованные сгущением условных границ первого или второго класса, назовем *квазидизъюнктивными границами первого* или *второго класса.*

5. К *условным геологическим границам третьего класса* 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 и 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) и т. д. В процедуру выделения условных границ третьего класса входят ретроспективные реконструкции, о которых будет сказано ниже.

6. *Произвольные границы* не зависят от пространственного распределения значений свойств вещества. Так, например, может понадобиться выделить часть пространства в форме прямоугольного бруска, вытянутого вдоль трассы строящейся дороги, в районе которого 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. Если резкостные и дизъюнктивные границы выделяются непосредственно по распределению свойств вещества в пространстве, то условные границы выделяются с использованием дополнительных процедур, включая ретроспективные конструкты (условные границы третьего класса). До проведения границ геологическое пространство является неполноопределенным. 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. Проведение границ имеет прямое отношение к процедуре построения модели геологического пространства.

Границы, состоящие из отрезков резкостных или условных границ, разделенных отрезками дизъюнктивных границ, назовем *нарушенными границами.*

## ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕЛА

*Геологические тела* представляют собой части пространства. Тела можно называть по классам их границ, т. е. резкостными, дизъюнктивными, условными первого, второго и третьего классов, произвольными, а также квазидизъюнктивными и нарушенными. Тело, ограниченное отрезками геологических границ разной природы, можно именовать *телом пересечения.*

При ограничении тела границами разных типов название тела определяется по границам наименьшей степени определенности. Так, тело, ограниченное на одних участках резкостной, а на других произвольной границами, называется произвольным, ограниченное дизъюнктивной и квазидизъюнктивной границами — квазидизъюнктивным телом и т. д.

Среди резкостных тел различаются *простые* и *сложные* тела. Простое геологическое тело характерно тем, что в нем нельзя провести ни одной резкостной границы.

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 дополнительная совокупность свойств или иная точность измерения значений свойств той же совокупности, по которой тело выделено в целом, позволяющая провести внутри него хотя бы одну резкостную границу. 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.

Наряду с простыми и сложными телами для полноты описания пространства следует различать также *составные тела.* Под составным телом понимается любая связная совокупность неусловных 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 (рис. 1).

Из понятия о сложном теле вытекают важные следствия. При соблюдении принятой специализации сложное тело может быть разделено проводимыми внутри него границами на такие простые тела, которые не перекрывают друг друга и между которыми не остается никаких промежутков. Примером здесь может

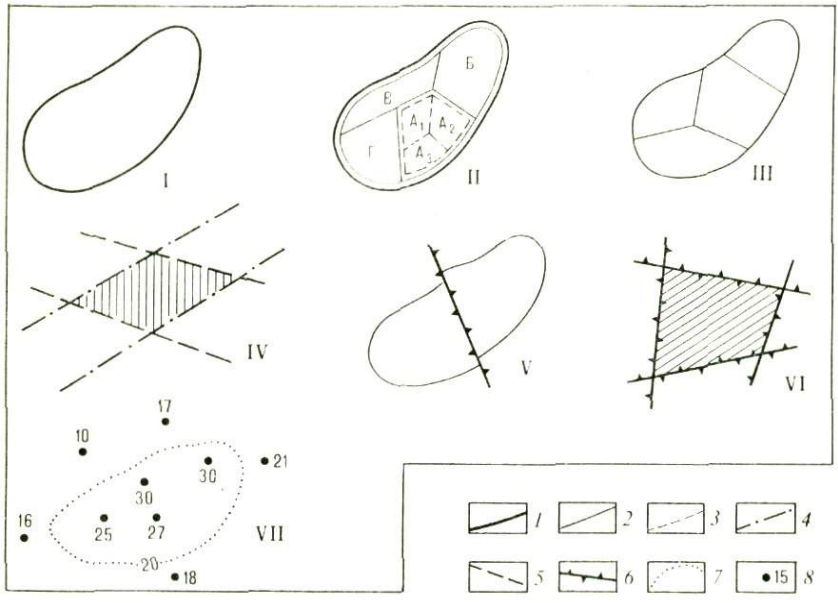



Рис. 1. Типы геологических тел

При выделении геологических тел используются некоторые родовые признаки ($a_1$), при выделении структурных элементов в пределах этого тела — видовые ($a_2$), а при выделении в пределах той же системы структурных элементов второго ранга — подвидовые ($a_3$) причем $a_3 \supset a_2 \supset a_1$ Могут рассматриваться тела с разными специализациями (а, в, с и т. д.). Особо выделяются дизъюнктивные границы Д.

I — простые тела; II — сложные тела (А, Б, В, Г — структурные элементы сложного тела; $A_1$, $A_2$, $A_3$ — структурные элементы второго ранга); III — составное тело; IV — тело пересечения; *V* — нарушенное тело; VI — дизъюнктивное тело; VII — условное тело первого ранга.

Границы: 1 — по признакам $a_1$, *2* — по признакам $a_2$, *3* — по признакам $a_3$, *4* — по признакам природы в, *5* — по признакам природы с, *6* — дизъюнктивные, *7* — условные первого класса; *8* — точки измерения значений свойств

служить стратиграфическое расчленение любой толщи (серии, системы, яруса и т. д.), если оно проведено по определенному свойству или фиксированному их списку. В таком случае мы можем говорить о простых телах, составляющих сложное тело, как о его *структурных элементах*. При этом, если наше исходное тело мы отнесем к первому рангу тел, то его структурные элементы будут принадлежать ко второму рангу. Дальнейшее увеличение списка свойств или повышение точности определения их значений может позволить нам тела второго ранга, в свою очередь, подразделить на структурные элементы и получить тела третьего ранга. Эту операцию можно продолжить и достичь выделения тел более высоких рангов. Совокупность и соподчиненность рангов называется *иерархией*, в нашем случае — иерархией геологических тел. Ранги тел и их иерархии устанавливаются с соблюдением принципа специализации. На составные тела понятия рангов и иерархии, как правило, не распространяются. Исключение представляют составные тела типа ритмов.

Разделение тела на структурные элементы с соблюдением принципа специализации может быть названо *элементаризацией*. Элементаризация может быть распространена на любую часть геологического пространства. К элементаризации относится любое геологическое районирование, осуществляемое путем проведения резкостных границ по вполне определенным признакам. Возможно, однако, геологическое районирование, проводимое по условным границам, например, по глубинам залегания фундамента, по линиям различного содержания и т. д. Такое геологическое районирование не связано с выделением структурных элементов и к элементаризации отношения не имеет. При геологическом районировании, связанном с выделением структурных элементов, или при любой другой элементаризации геологического пространства важно соблюдение *принципа соразмерности*. Иными словами, важно, чтобы структурные элементы имели близкие порядки размеров. Так, например, вряд ли имеет смысл разбивать пространство на слишком разнящиеся по размерам элементы — на слои мощностью в 1 км и 1 мм.

За выделением геологического тела следует его *описание*. Обычно описываются размеры тела, его форма, состав, структура и ориентировка в пространстве. *Размеры тела* можно выражать в линейных, квадратных, кубических километрах, метрах, миллиметрах и т. д., но можно более обобщенно охарактеризовать их порядками. Часто одни исследователи принимают одни системы порядков, другие — иные системы, причем различные системы не согласуются друг с другом. Например, иногда выделяются крупнейшие, крупные, средние, мелкие и мельчайшие тектонические формы или тела, иногда — большие, средние и малые; в одних случаях первый, второй и третий порядки, а в других — число порядков доводится до пяти и даже восьми. Нами было предложено за основу выделения порядков обязательно брать метрический эталон и придерживаться некоторого определенного правила

выделения порядков. В качестве одного из возможных вариантов предложен следующий. Эталоном выбрана планета Земля объемом $10^{12}$ (точнее, $1008^{10}$) км$^3$; было принято правило, что линейные размеры тел смежных порядков отличаются на 10, а объемные их размеры — на $10^3$. К первому порядку можно относить тела размером $10^{12}$—$10^9$ км$^3$, ко второму порядку — $10^9$—$10^6$ км$^3$ и т. д. Тогда, например, ядра соляных куполов и крупные кимберлитовые трубки будут относиться к четвертому порядку.

Аналогичным способом можно составить систему порядков для двумерных тел (моделей), что важно при работе с геологическими картами различных типов, а также одномерных тел (разрезы скважин). Принцип соразмерности заключается в выделении при элементаризации (разбиении) тел одного или двух смежных порядков. Характеристики, которые позволяют при элементаризации выделять соразмерные элементы, называются *мощными характеристиками* в отличие от маломощных, которые не позволяют осуществлять такое разбиение. *Мощность характеристики* — это отношение среднего объема элементов к разности объемов наибольшего и наименьшего элементов, выделенных по данной характеристике в рассматриваемой области пространства (сложном или составном теле).

Сложное тело, для которого определены признаки, позволяющие его выделять как целое, рассматривается нами как система, т. е. органичная природная целостность, объединяющая множество взаимно связанных элементов. Поскольку речь пока идет о наблюдениях и построениях в квазистатическом пространстве, будем говорить о сложных телах как о *квазистатических системах*. Если природное сложное тело (планета Земля), состоящее из оболочек, или горнопородное тело, состоящее из минеральных зерен, представляет собой *оригинал системы*, то его графическое, математическое или даже словесное отображение с абстрагированием от свойств, «мешающих» решению поставленной задачи, представляет собой *модель* системы. В системе различаются *элементы* (в случае квазистатической системы мы назвали их структурными элементами) и *структура*. Под структурой понимается совокупность связей и отношений между элементами, причем принимаются во внимание, что особенно важно при построении модели, только системообразующие связи. Системам, так же как и сложным телам, свойственна иерархичность.

Описание тел должно быть целенаправленным и экономичным. Каждое тело можно описать сколько угодно пространно, вдаваясь в любые тонкости и детали. На описание одного геологического тела человек может затратить всю свою жизнь, да и того может оказаться мало. Но оправдано ли это? При описании тела следует соблюдать *принцип оптимальной минимизации*, описывая существенные и практически полезные признаки.

Важно требование *однородности описания*. Однородность описания, так же как и специализация при выделении тел, необходима для сравнения объектов, т. е. для вывода общих законо-

мерностей, а значит и прогнозов, в том числе и практических. Короче говоря, однородность описания является необходимой предпосылкой научного исследования.

В идеале правила описания должны быть общепризнанными и узаконенными. Но в действительности это вряд ли достижимо. Достаточно, чтобы в пределах каждой исследовательской работы или цикла работ применялись бы определенные правила описания, позволяющие сравнивать изучаемые объекты. При проведении сравнительного анализа с привлечением данных других исследований (например, литературных данных) необходимо учитывать принимавшиеся ими правила описания. Особенно это важно при сравнениях по составам: здесь должны быть приняты во внимание способы и точности определения свойств вещества. Нарушение этого требования придает сравнительному анализу «вольный», ненаучный характер и зачастую приводит к ложным выводам.

Описание *формы тела* должно проводиться в соответствии с задачами и масштабом 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. В случае приуроченности к слою залежей полезных ископаемых такое описание совершенно недостаточно; следует указать контуры пластообразной залежи, определить положение мощных (толстых) и маломощных (тонких) ее участков, выяснить ее изгибы, глубины залегания и т. д. При описании формы тела 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 эталонными и матричным способами [см. «Основы тектоники», 1974, с. 62—63].

*Состав тела* может быть описан по крайней мере четырьмя способами — в среднем, методом дискретных точек, функционально и статистически.

1. Описание в среднем заключается в общей характеристике тела (например «толщина известняков», «земная кора обладает средней плотностью 2800 кг/м$^3$», «Земля содержит 33,63 % железа» и т. д.); может содержать значение не одного, а многих свойств (например, отражать среднее содержание всех элементов таблицы Менделеева в данном геологическом теле или большую совокупность физических свойств). Оно может быть выполнено в различной специализации или даже по любой совокупности специализаций с различной точностью определения значений свойств в зависимости от задач исследования.

2. Описание методом дискретных точек дает картину распределения свойств вещества внутри тела. Значение свойств (в соот-

ветствии с принятым списком) определяется в конечном количестве точек внутри тела, проводятся изолинии или изоповерхности (условные границы первого класса) и таким образом выделяются зоны с различными значениями (содержаниями). При описании состава до дискретным точкам следует придерживаться принципа специализации, так как разные свойства могут быть по-разному распределены в пространстве тела и изоповерхности для различных свойств могут быть различными. Если их нанести на одну карту или разрез, то они будут пересекаться и получится такая сложная и путаная картина, что модель окажется не эффективной в качестве инструмента научного исследования.

3. Функциональное описание проводится, если значение свойства вещества в любой точке тела может быть выражено математически, как функция координат этой точки. Это может быть достигнуто, например, при закономерном увеличении плотности с глубиной в молодых неконсолидированных осадочных толщах, при плавном изменении содержания какого-либо химического элемента в зависимости от расстояния от его источника и т. д.

4. Статистические методы описания состава базируются на методах математической статистики. Простейшими из них являются построение графиков, диаграмм и гистограмм.

*Описание ориентировки тела.* Каждое тело 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 его ориентировку 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 охарактеризовать не могут.

Если тело не обладает единственным максимальным или единственным минимальным диаметром, оно является изометричным, а его ориентировка в пространстве — неопределенной. К таким телам относятся, в частности, шар и сферические оболочки.

## ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ (ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА)

Под структурой сложного или составного тела с неусловными границами понимается взаимное расположение его структурных элементов. Связи этих элементов здесь не рассматриваются, так как структура представляется неизменной и построения являются чисто геометрическими. Структурные элементы должны быть полностью ограничены неусловными границами и полностью принадлежать рассматриваемому телу. Если какой-либо структурный

элемент хотя бы с одной стороны ограничен условной или произвольной границей, то это означает, что он представлен не полностью, а следовательно, не может быть точно охарактеризован в отношении размеров, формы и ориентировки. Такой структурный элемент не может приниматься во внимание при определении структуры.

При определении структуры соблюдается принцип соразмерности, т. е. принимаются 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 континента важно выделять платформенные и геосинклинальные области, но не дайки, соляные купола, жилы и т. д. Поэтому под структурными элементами сложного (составного) тела надо понимать выделяемые в его пределах простые неусловные тела не меньше определенного размера ($\lambda$). Тела размером меньше $\lambda$ рассматриваются как *включения*. Следует выбирать $\lambda$ так, чтобы все структурные элементы относились к одному порядку размеров. Порядок величины $\lambda$ называется *порядком структуры*. Кроме порядка структуры, отражающего размеры структурных элементов, важно иметь в виду также количество структурных элементов. Это существенно при описании структуры. 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.

Структура, поскольку она определяется взаимным расположением элементов, не зависит от положения тела как целого в пространстве. Одинаковой структурой могут обладать такие геологические тела, как, 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. Структура имеет смысл только при фиксированной совокупности свойств.

Совокупность свойств, по которым выделены структурные элементы, следует называть *геологической природой структуры*. Структура может быть, например, литологической, плотностной, биостратиграфической или другой природы. Структура не зависит от абсолютных размеров структурных элементов, т. е. одинаковой структурой могут обладать тела различных порядков по размерам.

Структура сложного (составного) геологического тела или любой части квазистатического геологического пространства после его элементаризации может быть определена по полной или неполной совокупности описания: 1) перечня структурных элементов, 2) логической структуры (бинарных отношений структурных элементов), 3) структурной решетки и 4) ориентации.

Следует отметить, что складчатые формы (флексуры, антиклинальные и синклинальные складки, купола, антиклинории и синклинории) в соответствии с приведенными выше определениями не могут рассматриваться в качестве структурных элементов, а могут выделяться лишь как условные геологические тела второго типа.

*Перечень структурных элементов* определяет их с точки зрения геометрических характеристик; для этого необходимо предварительно построить формально правильную классификацию форм структурных элементов.

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 в соответствии с выбранным масштабом, какие размеры тел будут считаться различными и какие одинаковыми.

В перечне структурных элементов указывается их общее количество и количество элементов, входящих в каждый класс форм и размеров. 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. В одномерном пространстве все структурные элементы имеют одинаковую форму.

*Логическая структура* определяет отношения между структурными элементами. Необходимо указать все случаи отношений между структурными элементами, которые считаются различными. 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, а по двум линиям, параллельным этой диагонали и соседствующим с ней,— символы, означающие отношения соседства. Все остальные знаки в матрице символизируют удаленность элементов (это относится только к описанию слоистой структуры в одномерном пространстве, ибо в двух- и трехмерном пространстве отношения слоев могут быть более сложными).

*Структурная решетка* определяет положение центров масс структурных элементов. Перед ее построением следует указать: а) способ выбора системы координат, жестко связанной с геологическим объектом, структура которого определяется, б) про-

цедуру определения положения центров масс структурных элементов и в) масштаб измерений.

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.

*Ориентация* определяет ориентировку каждого структурного элемента относительно системы координат, выбранной при описании решетки. Здесь важно 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.

Введем понятие *структурной границы*, не зависящей от распределения свойств вещества, а выделяемой только по структурным признакам. Под структурной границей можно понимать поверхность (линию, точку), отделяющую части пространства с существенно различными структурами. Эти части пространства могут отличаться по одному из структурных признаков (размеры, форма, структурная решетка, ориентация) или по любой их совокупности. Примерами структурных границ могут быть поверхности углового несогласия, разделяющие области с разной ориентировкой структурных элементов, ограничения областей с разной ориентировкой складок или областей с разной их формой (линейные складки, идиоморфные складки, платформенные складки), или же областей с разной формой (ориентировкой, размерами) гравитационных или магнитных аномалий. Структурные границы в отдельных случаях могут совпадать с границами, определяемыми по вещественному составу (например, границы между структурными этажами, ограничения инъективных тел и т. д.); однако такое совпадение будет скорее исключением, чем правилом. Подобно резкостным границам первого и второго рода можно выделять *структурные границы первого и второго рода* по резкости смены структурных признаков при переходе через границу. От структурных границ будем отличать *вещественные границы*, к которым отнесем резкостные, дизъюнктивные и условные границы всех трех классов. Произвольные же границы остаются безразличными по отношению к распределению вещественных и структурных признаков.

## ПРИНЦИПЫ ВЫДЕЛЕНИЯ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В СВЯЗИ С ТЕКТОНИЧЕСКИМ КАРТИРОВАНИЕМ

Одним из важнейших практических приложений методологии изучения геологических границ, тел и структур является *тектоническое картирование*, учение о котором можно назвать *тектонической картографией*, в основании которой лежат выделение и описание геологических границ, простых и сложных геологических тел, элементаризация геологического пространства, ранги и

иерархии. Тектонические карты нужны для разработки тектонических критериев поисков минерального сырья. Это достигается путем прослеживания связи геологических границ, тел разных рангов и т. д. с размещением месторождения минерального сырья их признаков, а также сопутствующих явлений (например, проявления тяжелых углеводородных газов при поисках нефти, нахождение минералов-спутников, гелиевые аномалии и многие другие). Так как тектонические карты служат задачам поисков, они могут быть специализированы в соответствии с поставленными задачами (принцип целесообразности): тектонические карты, связанные с решением нефтепоисковых задач, и тектонические карты металлогенического назначения могут быть построены по разным методикам и с разными легендами. Масштабы карт и даже типы выбранных географических основ (проекций) могут быть приняты с учетом поставленных при составлении этих тектонических карт теоретических и практических задач.

Тектоническая картография слагается из тектонического районирования (элементаризация пространства) и последующего, более детального изображения выделенных структурных элементов (описание тел).

Тектоническое картирование представляет собой частный случай элементаризации 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 имеет не только петрографический состав, но и размеры тел данного состава, последовательность этих тел (например, ряды формаций), 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), 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 минерального сырья.

В результате тектонического районирования выделяются структурные элементы гипергенной 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, промежуточные типы коры, блоки и рифтовые системы.

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

При формулировке общих принципов тектонической картографии следует иметь в виду, что она сводится к элементаризации геологического пространства и описанию геологических тел (выделенных структурных элементов). Можно наметить следующие общие принципы тектонической картографии.

*Принцип специализации*, 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 принципа 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. Иногда на таких картах 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 общий сравнительный анализ структурных элементов гипергенной оболочки Земли, а «стыкованные» карты, основанные на различных признаках и не создающие основу для совместного анализа континентальных и океанических структурных форм.

*Принцип соразмерности* является также руководящим при тектоническом районировании и выделении структурных элементов гипергенной оболочки. 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 малых размеров. Представления о геологическом развитии структурных элементов (ретроспективные конструкты) 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 малых размеров. Например, геосинклинали, геоантиклинали и т. д., принимаемые как структурные элементы, определенные по вещественному составу, слагаются из геологических формаций, при изучении соотношений которых выявляются 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 гипергенной 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 палеогео-

графической 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 и многочисленных способов тектонического районирования (по типам складчатости,

по ориентировке линейных элементов структуры, по способности к дальнейшим деформациям и т. д.), мы видим, что районирование по формационному составу оказывается наиболее важным.

Проведение тектонического районирования и выделение структурных элементов гипергенной 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 определить эти закономерности.

Принцип целесообразности применительно к описанию заключается в выборе таких структурных и вещественных признаков, которые наиболее существенны для характеристики структурных элементов в соответствии с принятыми целями исследования. Например, если данные тектонической карты являются основой 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 местонахождение массивов изверженных пород различного формационного типа и рудной специализации, расположение глубинных разломов, древние эруптивные аппараты, рудные и рудоносные формации 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, прослеживать 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 Восточно-Европейской платформе чехол был выделен как трехмерное тело, охарактеризована его мощность (точнее, глубины залегания фундамента) и несколькими системами стратоизогипс показана 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 Восточно-Европейской 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 может проводиться по статическим, динамическим и ретроспективным характеристикам. Обычные тектонические карты представляют собой модели квазистатических систем. Среди них можно различать карты, на которых районирование проводилось 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 квазистатическом 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 квазистатическом геологическом пространстве. Термин «возраст складчатости» представляет лишь 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 скользящим не только относительно «подлинных» изохрон (которые крайне трудно или вообще 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 гипергенной оболочки может сводиться к выделению крупных тектонических форм по *структурным* (геометрическим) *признакам*, например к выделению прогибов, поднятий (сводов), областей с горизонтальным залеганием слоев, крупных грабенов и горстов и т. д. У Э. Ога и его предшественников Д. Холла и Д. Дэна явно преобладают геометрические критерии при пространственном выделении геосин-

клиналей и геоантиклиналей, которые, таким образом, выступают в качестве тектонических (структурных) форм. «В противоположность геосинклиналям выпуклый изгиб земной коры Дэна называют 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» [Ог, 1914, с. 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 складчатых зон и платформ.

В практике тектонического картографирования 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, характеризующего докембрийские образования Южной Африки, находим высказывание, что огромная мощность (до 10 км) не вызывает сомнений в их геосинклинальном характере. Однако известны факты накопления весьма больших мощностей не только в геосинклиналях, но и на платформах. Например, по данным сейсморазведки, мощности пермских и мезо-кайнозойских отложений Прикаспийской впадины Восточно-Европейской платформы превышают 10 км. В связи с этим А. Л. Яншин справедливо отмечает, что большие мощности осадков нельзя считать одним из критериев геосинклинального режима. 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, измеряемыми несколькими десятками градусов (складчатые системы Юрских гор, Ангаро-Ленской зоны на Сибирской платформе и ряда районов Южно-Китайской платформы).

Таким образом, для выделения геосинклинальных и платфор-

менных областей, понимаемых как комплексы формаций, вещественный признак следует считать определяющим, а структурный — сопутствующим. Это, конечно, не означает, что гипергенную 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 гипергенной оболочки, но и создает принципиальную возможность ее объемного районирования, 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 гипергенной 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 гипергенной оболочки, то при рассмотрении 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 тектонических картах СССР, Европы, Евразии и других картах 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, с различным знаком движений, т. е. условные геологические тела первого класса 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 речи о выделении структурных элементов, обладающих всегда резкостными границами, полностью определяемыми распределением свойств веществ 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 условных тел первого класса 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.

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

К тектоническим картам, основанным на ретроспективных реконструкциях, относятся палеотектонические карты, которые важны для реконструкции процессов формирования гипергенной 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.

Серии палеотектонических карт являются ретроспективными моделями, иллюстрирующими тектоническое развитие той или иной части гипергенной 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 эле-

ментах (мигрирующих, разрастающихся и распадающихся) являются ретроспективными конструктами и производными от базисных моделей квазистатического геологического пространства гипергенной оболочки и ее структурных элементов, представляющих собой ассоциации геологических формаций.

Большой интерес представляет тектоническое районирование, проводимое на палинспастической топооснове. 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 несут на себе отпечаток субъективного подхода. Однако в принципе сопоставление палинспастических карт для разных хронологических уровней открывает новые возможности палеотектонических реконструкций.

## СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ВОПРОСОВ. РЕТРОСПЕКТИВНЫЕ РЕКОНСТРУКЦИИ

В *квазистатических системах* структурными элементами являются геологические тела, структуры выражаются в пространственных соотношениях элементов, время является фиксированным, а основные принципы исследования — принцип специализации, принцип соразмерности, принципы однородности и минимизации описания. Модели квазистатических систем используются при описании и исследовании фиксированных геологических границ, тел и структур, положение которых существенно не меняется на протяжении всего периода геологических исследований. Разрезы скважин, стратиграфические колонки, профильные разрезы, различные геологические и геофизические карты, а также описания геологических тел (слоев, массивов, толщ и т. д.) представляют собой квазистатические модели, казалось бы, исчерпывающие все виды геологической документации структурных построений.

Однако в геологических исследованиях не меньшую роль играют еще два типа систем — динамические и ретроспективные.

*Динамические системы* охватывают всю гамму современных геологических процессов (денудация, вулканизм, сейсмичность, современные тектонические движения, современное осадконакопление, тепловой поток, подвижные составляющие современного магнитного поля и т. д.). В динамических системах в качестве элементов выступают геологические события и состояния; структура этих систем образуется пространственно-временными отношениями и причинно-следственными связями, время принимается физическое и определяется применением часов или другими

периодическими процессами, а основными принципами исследования являются принципы механики, физики и химии.

Модели динамических систем могут быть представлены графиками, таблицами или формулами с временем в качестве одной из переменных.

Геологические процессы можно наблюдать в природе, воспроизводить в экспериментах или рассчитывать в соответствии с законами механики, физики и химии. Если непосредственные наблюдения над природными геологическими процессами дают достоверные данные, то интерпретация экспериментальных данных и теоретические расчеты будут давать лишь гипотетические представления о геологических процессах. Представления эти надо проверять, чтобы выяснить степень их соответствия с природой. Поэтому при проведении экспериментов или расчетов необходимо указывать способы проверки результатов.

Теоретические построения, выходящие за пределы наблюдаемого времени и наблюдаемого пространства, непосредственно проверить невозможно. Они всегда остаются гипотетическими. Понятие и соответствующий ему термин *«сугубая гипотеза»* можно принять для выражения представления о таких гипотетических предположениях, для которых не может быть указано удовлетворительных способов непосредственной проверки в обозримом будущем.

В соответствии со сказанным выделяются три модификации динамических систем и их моделей — природные, экспериментальные и гипотетические, соответственно обозначаемые $Д_п$, $Д_э$, $Д_т$. Кроме того, могут строиться комбинированные модели — $Д_пД_т$, $Д_пД_э$, $Д_эД_т$ и $Д_пД_эД_т$. Изучение комбинированной трехкомпонентной модели — лучший путь исследования геологических процессов. Природные процессы редко можно наблюдать во всей их полноте. Эксперименты помогают заполнять пробелы и намечать причинно-следственные связи. Естественно, что хорошо должна быть продумана интерпретация экспериментальных результатов и учтены соотношения экспериментальных процессов с природными в свете теории подобия. Теоретическое моделирование чрезвычайно расширяет диапазон и средства исследования за счет использования законов точных наук.

*Ретроспективные системы* охватывают все геологические построения, касающиеся геологического времени, событий и обстановок геологического прошлого и генетических проблем. Ретроспективные системы могут быть выражены только в моделях. Поэтому они не могут быть непосредственно проверены. Однако существуют многие косвенные методы их проверки, которые всегда сводятся к «обращению» к настоящему.

Среди ретроспективных систем можно выделять ретродинамические и ретроквазистатические системы.

Элементами в ретроспективной системе (модели) являются *реконструированные события, обстановки и процессы. Оригиналов* ретроспективные системы не имеют. Точнее, оригиналы их

находятся в прошлом и не могут быть исследованы на уровне наблюдений.

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 здесь 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).

Принцип последовательности напластования является модификацией принципа актуализма. Мы можем 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 воспроизводится 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 всегда ведет к 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, за счет гравитационной дифференциации внутри остывающих магматических тел.

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 — генетическими схемами или представлениями. Синтез реконструкций времени и реконструкция генетического типа позволяют перейти к высшему типу ретроспективных систем — историко-геологическим реконструкциям.

Ретроспективные системы основываются на информации квазистатических и динамических систем, объединяют и синтезируют ее; они являются в информационном отношении более богатыми, чем остальные две системы, хотя построения в ретроспек-

тивных системах менее достоверны, чем наблюдения в квазистатических и динамических системах. Если ретроспективные системы являются «сердцем» геологии, то квазистатическая и динамическая системы являются ее двумя «ногами» или ее базисом.

Соблюдение принципа минимизации описания обеспечивает наиболее экономичное описание геологического тела с учетом поставленных задач. Однако наряду с соблюдением этого принципа необходимо обращать внимание на те вещественные и структурные признаки, которые могут быть использованы для ретроспективных реконструкций генетического типа, например: для воссоздания механизма формирования дислокаций, условий формирования горных пород, руд, нефти и т. д. Надо иметь в виду, что ретроспективные реконструкции расширяют горизонты исследования и возможности прогнозирования.

В основе ретроспективных реконструкций геологического времени лежит истолкование последовательности образования геологических тел как последовательности событий. Реконструирование событий и их соотношений является основой определения геологического (логического) времени.

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. 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.

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, и рассматриваем реконструируемые явления так, как будто они приурочены к какому-либо одному «моменту» геологического времени. Подразумевается, что эти явления и процессы протекали не мгновенно, а имели некоторую длительность, занимали некоторый отрезок «физического» времени, но к течению геологического времени не имели явного отношения. Время, к которому мы при-

урочиваем ретроспективные реконструкции генетического типа, назовем *фиксированным геологическим временем*. Это то же самое, что и «эмпирическое мгновение» В. И. Вернадского.

В динамических системах 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-следственные связи для реконструкции по этим результатам тех обстановок, в которых протекали процессы. Если справедливо прямое утверждение (данные условия приводят 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.

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. Однако, если вероятностные характеристики, используемые для предсказаний, могут быть опровергнуты или подтверждены и уточнены, вероятностные характеристики, используемые при построении ретроспективных систем, останутся гипотетическими.

Хотя способ образования изучаемого объекта может не меняться с течением времени, могут меняться наши представления о нем, причем 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. Это вполне касается и любых других генетических реконструкций и, 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.

На основании реконструкций геологического времени и 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 хроностра-

тиграфической 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.

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.

## ЗЕТ-СИСТЕМА

При выделении квазистатических, динамических и ретроспективных систем исследования единой Земли как бы подразделяются на три искусственно ограниченные части. И можно думать, что эти части изолируются искусственно, а геологические исследования как бы выхолащиваются, теряя свое единство. Но это не так. Введение представления о системах является необходимым научным абстрагированием и имеет целью наиболее правильное и полное исследование строения и истории Земли.

Геологический мир слишком сложен и многообразен, чтобы в особенностях его можно было бы разобраться без такого расчленения и абстрагирования. Каждая из выделенных систем имеет не только свои принципы, не только свое понимание времени, но и свой язык. В процессе исследования смешение этих языков недопустимо, так как может привести к «несусветному хаосу» в научных построениях. Здесь получается то же, что и в более частном случае смешения языков квазистатических систем различной специализации.

Абстрагировав системы одну от другой и создав таким образом условия для исследования, мы должны вновь перейти к нашему конкретному объекту — Земле в целом. Для этого системы

надо объединить в единую, логически выдержанную методологическую систему. Эту систему по форме ее схематического графического изображения (рис. 2) назовем *зет-системой*. Принципы ее построения заключаются в следующем.

Во-первых, данные исследования квазистатических и динамических систем объединяются по принципу распространенной аналогии. Делается это так: тело или вещество, полученные в результате современных геологических процессов (природных или экспериментальных), сравнивают с телом или веществом, захороненным в недрах Земли. Первые сравниваются со вторыми, и при достаточном сходстве по возможно большему количеству признаков делается вывод, что генезис (обстановка, условие), полученный в динамических моделях, соответствует генезису (обстановкам, условиям) аналогичных тел и веществ, захороненных в недрах Земли. Таким образом, достигаются синтез квазистатических и динамических моделей и полнота использования информации.

Во-вторых, в соответствии с принципом актуализма сделанная реконструкция переносится в то время геологического прошлого, которое отвечает времени формирования исследуемых захороненных в недрах Земли тел и веществ. Таким образом, восстанавливаются события и обстановка геологического прошлого. Для получения более полной историко-геологической картины и для воссоздания геологической истории вообще эти реконструированные обстановки и события нанизываются на ось геологического времени. Таким образом строятся ретроспективные модели.

Рабочие гипотезы (ретроспективные реконструкции) о временных отношениях между телами (событиями) или о процессах геологического прошлого позволяют уточнять и дополнять модели исходных квазистатических систем, а также строить модели для аналогичных квазистатических систем, для которых в силу недостаточности их изученности модели не могли быть построены.

Поясним сказанное простейшим примером (рис. 3). В скважине А отобраны образцы 1, 2 и 3, охарактеризованные литологическими и другими свойствами. В точке Б отобран образец 4, обладающий несходным составом. Сопоставить наблюдения в точках А и Б и построить модель не представилось возможным, пока не был определен возраст образцов, т. е. пока не была осуществлена ретроспективная реконструкция. Заметим, что возраст образцов определялся не непосредственно в точках А и Б, а по аналогии с эталонными разрезами, в которых это можно было осуществить только на основании принципа последовательности напластования, позволившего определить относительный возраст палеонтологических остатков в эталонном разрезе. Перенесение эталонных данных о возрасте на образцы в точках А и Б позволило построить модель с проведением стратиграфической границы $\Gamma_1$ и выделением тел $T_1$ и $T_2$; несходство же состава одновозрастных образцов 3 и 4 заставило предположить наличие «фациальной» границы $\Gamma_2$ и выделить подтела (или структурные элементы второго порядка) — $T_2^1$ и $T_2^2$. Если с образцом 3 связано полезное

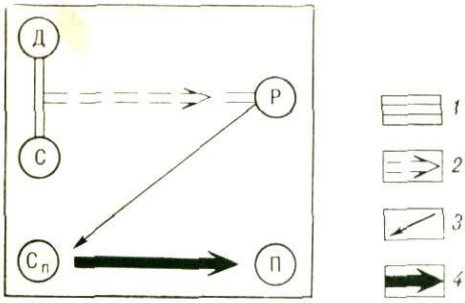



Рис. 2. Зет-система (С — квазистатические системы, $С_п$ — прогнозные модели квазистатических систем, Д — динамические системы, Р — ретроспективные системы, П — практический результат)

*1* — сравнение по распространенной аналогии; *2* — построение ретроспективной модели по принципу актуализма; *3* — построение прогнозной модели; *4* — практическая реализация

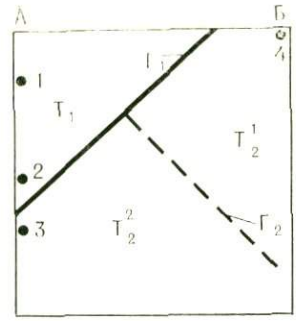



Рис. 3. Схема построения прогнозной модели

ископаемое (например, нефть), то наша модель позволяет предположительно связать нефтеносность с телом $T_2^2$ и располагать скважины с учетом его оконтуривания. Такого рода квазистатические модели, построенные не только на основании непосредственных наблюдений, но и с использованием ретроспективных реконструкций, являются *прогнозными моделями*. Их проверка заключается в практической реализации всего комплекса исследований, объединенных в зет-систему. Само собой разумеется, что приведенный здесь пример является предельно элементарным и в ходе геологических исследований и их практической реализации приходится иметь дело с несравненно более сложными построениями. Прогнозная модель никогда не бывает окончательной. С получением новых данных, либо непосредственно наблюденных, либо полученных в результате дополнительных ретроспективных построений, прогнозная модель дополняется и изменяется. Такие постоянно изменяющиеся и усовершенствующиеся прогнозные модели представляют собой непрерывный путь научных исследований и практической деятельности к открытию минеральных ресурсов в новых формах залегания, на новых территориях или акваториях, на новых глубинах и, наконец, в новом качестве.

Кроме квазистатических прогнозных моделей можно говорить и о динамических прогнозных моделях. Они как будто бы еще не строились. Трудно судить пока, возможно ли их построение вообще. Однако принципиально не исключается путь от ретроспективных реконструкций (систем) тектонических движений геологического прошлого, от реконструированных сейсмических обстановок (например, по палеосейсмическим дислокациям), от реконструированных обстановок и событий, связанных с вулканической

деятельностью прошлого (палеовулканология) к прогнозу современных явлений. Здесь пути совершенно неизведаны, но задуматься стоит.

Можно не сомневаться, что кроме зет-системы могут быть предложены и иные методологические системы, объединяющие все типы геологических исследований и приводящие к их практической реализации. Однако для всех методологических систем, включающих ретроспективные конструкты, будет характерно возвращение к квазистатическим системам на более высокой ступени и через них к практическим целям исследования. Почему же, имея в виду в качестве исходного пункта исследования квазистатические объекты, мы используем ретроспективные построения с тем, чтобы снова вернуться к квазистатической 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. того, 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 к нам приходят на помощь системы рабочих гипотез, помогающих представлять наиболее вероятные связи между отдельными 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, и в поисках полезных ископаемых. Аналогичные соображения можно привести о генетических историко-геологических и эволюционных реконструкциях, позволяющих существенно дополнять, а часто выяснять картину размещения геологических объектов, в том числе полезных ископаемых.

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.

Зет-система рисует путь практического использования ретроспективных реконструкций. Однако их надо рассматривать как основу фундаментальных исследований в геологии. Реконструкция геологических событий ведет к выяснению эволюции Земли в целом как планетного тела и в принципе в дальнейшем может позволить сомкнуться геологическим представлениям с концепциями физиков о возможных способах образования нашей планеты и о космических процессах более широкого диапазона. Выяснение эволюции Земли очень важно в сравнительном анализе нашей планеты и других планетных тел. В таких широких и далеко идущих построениях не надо смущаться вероятностной природой ретроспективных реконструкций. Все предсказания физиков и экономистов являются вероятными; такими же являются и геологические ретросказания. Фундаментальный принцип абсолютной предсказуемости в ньютоновской механике, конечно, очень понятен и удобен, но наука в настоящее время находится на новых рубежах.

## УРОВНИ ОРГАНИЗАЦИИ И ОБЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ О ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЕ

Представление об *уровнях организации* широко распространено в биологических и социологических науках. Представление об уровнях организации неорганического вещества зародилось в процессе изучения Земли. *Планетарный уровень* организации вещества определяет существование нашей планеты в целом; этому уровню свойственны связи между структурными элементами или телами, определяемые гравитационными силами. *Атомно-молекулярный уровень*, связанный с электромагнитными силами, определяет существование кристаллов, минералов и отчасти горных пород. В сущности говоря, планетарный уровень, по крайней мере в пределах Земли,— это сфера геологии (тектоники), а атомно-молекулярный — кристаллографии и минералогии. Горные породы лежат как бы на границе этих двух уровней и этих двух отраслей геолого-минералогических наук и обладают качествами, присущими и подведомственными им обоим.

Планетарный и атомно-молекулярный уровни — это земные уровни организации вещества. Существуют, по-видимому, еще два уровня вне сферы геологии. Это уровни, соответствующие сильным взаимодействиям и слабым взаимодействиям в микромирах; не исключено также существование некоторых «сверхпланетарных» уровней в далеком и необъятном космосе.

В геологических сочинениях часто упоминается о более дроб-

ных земных уровнях, например: уровнях минералов, горных пород, геологических формаций, геологических комплексов и геосфер; но такие подразделения не оправданы. Надо иметь в виду, что организация вещества обусловлена прежде всего формой связи между частицами (элементами) и господствующими типами сил.

Отметим, что существует несколько систем определения последовательности или соподчиненности геологических тел или более мелких частиц — ранги, порядки и уровни организации. Понятия эти в корне различные, и их нельзя подменять одно другим.

Теперь о горных породах.

Природа горных пород как пограничных систем является двойственной, т. е. с одной стороны, химической, с другой — геологической. Принадлежность горных пород одновременно к двум различным уровням организации вещества чрезвычайно усложняет проблему упорядочения их разновидностей, т. е. проблему построения их классификаций, что подчеркивал еще Ф. Ю. Левинсон-Лессинг.

Двойственный характер горных пород, рассматриваемых как системы, сказывается в их структуре. Так, по характеру структурных решеток горные породы занимают промежуточное положение между кристаллами с их существенно регулярными структурными решетками и гипергенной оболочкой Земли с ее существенно нерегулярной структурной решеткой. Если описание структурной (кристаллической) решетки кристаллов (минералов) сводится к определению плоскостей и углов и принадлежности этой решетки к тому или иному типу симметрии, то описание структурных решеток горных пород носит статистический характер. Так, характеризующая структурную решетку горной породы «степень нерегулярности» количественно выражается дисперсией величин расстояний между центрами масс структурных элементов.

Связи структурных элементов горной породы также двойственны. С одной стороны, это химические связи, развивающиеся по эпитаксиальным контактам в кристаллических породах. «Случайный» характер эпитаксиальных контактов, развитие которых в основном определяет прочность породы, выражается в большом разбросе величин прочности в полнокристаллических породах однородного минерального состава. Так, для гранитов временное сопротивление сжатию указывается в пределах $167{,}4 \cdot 10^6$—$331 \cdot 10^6$ Па, а для кварцевых порфиров — $88{,}3 \cdot 10^6$—$401{,}2 \cdot 10^6$ Па. С другой стороны, структурные элементы горных пород объединяются значительно менее эффективными в отношении прочности «геологическими» связями — это сочленения шунтового, шипового и каркасного типов, коллоидные связи (силы молекулярного притяжения в глинистых породах), поверхностное натяжение заполняющих поры жидкостей и, наконец, гравитационные связи, имеющие главное значение в рыхлых породах.

Геологические объекты, состоящие из горных пород (горнопородных тел), принадлежат целиком к планетарному уровню организации вещества. В основе ряда этих крупных объектов лежат

наслоенные геологические формации, совокупности которых образуют формационные ряды, геосинклинали, платформы, геосинклинальные системы и другие крупные структурные элементы гипергенной оболочки Земли. К планетарному уровню организации вещества относятся также геосферы.

Заслуга выделения наслоенных формаций в качестве систем принадлежит Н. С. Шатскому, который, определив формации через их элементы (породы, пачки пород, свиты, отложения и парагенетические отношения), фактически положил начало системным исследованиям крупных геологических объектов. Следует отметить, что парагенетические отношения характеризуют скорее состав формаций, чем их структуру. Структурная решетка наслоенных формаций сохраняет лишь одномерную регулярность по вертикальной оси и сказывается в ритмичном наслоении. В формациях слои образуют некоторые элементарные группы (ритмы), состав и мощность которых могут варьировать в широких пределах, с чем связана значительная степень нерегулярности одномерной структурной решетки. В горизонтальной плоскости структурная решетка наслоенных формаций существенно нерегулярна. Структурные решетки более крупных систем, в которых наслоенные формации выступают в качестве элементов, являются нерегулярными; количество структурных элементов в этих системах недостаточно для периодического строения их структурных решеток. Если для описания таких систем, как минерал, горная порода, отчасти (при описании вертикального разреза) геологическая формация, достаточно описать элементарную группу и указать область ее распространения, то для описания более крупных систем необходимо охарактеризовать каждый структурный элемент в отдельности и указать для каждого элемента координаты центров масс, образующих в совокупности нерегулярную структурную решетку.

Связи между структурными элементами наслоенных формаций и более крупных систем планетарного уровня организации вещества являются гравитационными как в статическом, так и в генетическом аспекте. Все эти системы — слоистые. Слои в своей последовательности налегают друг на друга, прижимаясь собственным весом или весом вышележащих слоев, т. е. силой тяжести. Образование слоев связано с распределением вещества на поверхности Земли в условиях и под влиянием ее гравитационного поля. Химические и другие виды связей в структурах крупных геологических систем играют ничтожно малую роль.

В целом переход от геологических объектов (систем) атомно-молекулярного уровня к объектам планетарного уровня сопровождается уменьшением и полным исчезновением регулярности структурных решеток и заменой химических связей гравитационными.

## ОСНОВНЫЕ АТРИБУТЫ ПЛАНЕТАРНОГО УРОВНЯ ОРГАНИЗАЦИИ ВЕЩЕСТВА

Основными атрибутами планетарного уровня организации вещества являются: а) достаточно большая масса планетного тела и его сфероидальная форма, б) собственное тепловое поле и тектоническая активность, в) слоистая структура.

Сравнительно мелкие небесные тела (метеориты, астероиды, малые спутники), как правило, не обладают сфероидальной формой. Так, даже для наиболее крупного астероида — Цереры диаметром 770 км установлены флюктуации блеска, указывающие на его неправильную форму. Массы этих тел недостаточно велики, и создаваемые ими гравитационные поля недостаточно эффективны для расплывания вещества под влиянием значительных глубинных давлений и сообщения телу необходимой пластичности для приобретения им фигуры, близкой к фигуре гидростатического равновесия. Луна имеет диаметр 3300 км. Близкие к ней по размерам Галилеевы спутники Юпитера, Титан Сатурна и Тритон Нептуна по всем данным также обладают сфероидальной формой. Очевидно, в сфероидальных небесных телах гравитационные связи существенно преобладают над молекулярными. Именно в таких телах осуществляется организация вещества на планетарном уровне. Нижний предел их размеров лежит где-то между размерами Луны и Цереры. Сфероидальная форма, приобретаемая небесными телами при достижении ими некоторых критических размеров (массы), по мнению Б. Л. Личкова является важнейшим атрибутом планетарного уровня организации вещества.

Существование собственного теплового поля у планетных тел является прямым логическим следствием и функцией их размеров и сфероидальной формы как фигуры гидростатического равновесия. Действительно, расплывание вещества в недрах планетных тел, его перемещение и перераспределение внутри планеты при достижении ею фигуры гидростатического равновесия неизбежно связаны с разогреванием, а местами даже с расплавлением вещества и созданием, таким образом, источников тепла в теле планеты. Источники тепла могут также возникать в процессе приспособления фигуры гидростатического равновесия Земли к изменяющейся космической обстановке. Если допустить, что тектонические дислокации являются результатом приспособления фигуры Земли к фигуре гидростатического равновесия после деформации ее за счет космического воздействия, то энергия тектонической дислокации должна представлять собой лишь часть энергии, развивающейся при деформации земного шара. Принимая, согласно П. Н. Кропоткину и Ю. А. Трапезникову, величину общей тектонической энергии в $10^{21}$ Дж в год, можно прийти к выводу, что энергия деформации земного шара полностью обеспечивает расход тепла Земли (тепловой поток, вулканические извержения и т. д.). Если это так, то вопрос о природе теплового потока Земли нуждается в уточнении. Приблизительное равенство величин теплового

потока при различном петрографическом составе гипергенной оболочки в континентальных и океанических областях говорит о том, что тепловой поток обусловлен не неравномерно распределенным по разным типам горных пород содержанием радиоактивных элементов, а общей для земного шара причиной. Создается впечатление, что равномерно распределенный тепловой поток является функцией массы планеты и появляется при достижении ею некоторой критической величины, при которой гравитационное поле становится эффективным в смысле придания ей сферической формы. Равномерный тепловой поток, таким образом, можно рассматривать как общее свойство планет. Вулканическая деятельность на планетах может быть связана с этим общим для них свойством.

Слоистая структура Земли является также важнейшим атрибутом планетарного уровня организации вещества и связана с его гравитационным распределением в теле планеты. Из того факта, что плотность горных пород, слагающих поверхностные части Земли, намного меньше средней ее плотности, следует, что плотность Земли возрастает к ее центру, и Земля, таким образом, состоит из концентрических оболочек разной плотности, т. е. имеет слоистое строение (представление о слоистом строении Земли вытекает также из сейсмологических данных). Такое распределение плотности в недрах Земли вряд ли является следствием гравитационной дифференциации в том смысле, что содержавшиеся в ранее гомогенной массе тяжелые частицы, или блоки, опускались, а легкие (например, «пузыри» кислого материала) поднимались, как это происходит при разделении жидкостей. Более вероятно предположение, что плотностная слоистость Земли связана в основном с возрастанием давления к ее центру и соответствующими изменениями состояния (в том числе фазовыми) вещества. Это слоистое строение, обязанное распределению вещества или его свойств и состояний в недрах Земли, называется *гипогенным* в отличие от *гипергенного* слоистого строения, возникающего за счет гравитационного распределения вещества на поверхности планеты.

Гипергенная слоистая структура формируется в результате переноса и переотложения обломочного, а также растворенного материала реками, морскими течениями, ветрами, ледниками, в результате расплывания вещества на поверхности Земли в виде лавовых и грязевых потоков, в результате расселения организмов и осаждения космических частиц на поверхности планеты. Гипергенная слоистость, создаваемая за счет распределения вещества на поверхности Земли, зафиксирована в *гипергенной оболочке*, т. е. во внешней оболочке земного шара, в пределах которой по тем или иным признакам можно распознать слои, ранее сформированные на поверхности Земли. Гипергенные слоистые структуры и гипергенные оболочки должны быть и на других планетах земного типа, даже лишенных атмосферы, гидросферы и биосферы; в этих случаях они будут как бы редуцированными и должны состоять только из вулканических и космических продуктов.

В гипергенной оболочке запечатлены определенные геологические события в их исторической последовательности. Поэтому исследование именно гипергенной слоистой структуры с использованием в качестве аксиомы принципа последовательности напластования лежит в основе изучения как истории земной поверхности, так и геологической истории вообще.

## КОНТИНУУМЫ

В архаичном, т. е. изначальном природном, сознании пространство и время представлялись как нечто единое; достаточно сказать, что расстояние измерялось по времени, а для обозначения расстояния в пространстве и интервалов времени использовалась одна терминология. Да и сейчас мы часто говорим — «далекое прошлое» и «далекая страна», «ближайшее будущее» и «ближайший город». Может быть, это — пережитки, но они нам и сейчас удобны и, возможно, подсознательно отражают наши природные представления об единстве пространства и времени. Однако для познания необходимы абстракция и анализ. Пытливый человеческий разум привел к разделению пространства и времени. Пространство и время стали абстракциями, необходимыми для познания единства мира. Метрика времени была создана на основе пространственных представлений. Цикличные процессы, протекающие в пространстве (качание маятника, обращение небесных светил), были приняты за меру времени. Получилась линейная шкала времени — очень необходимая, но сугубо схематичная абстракция — модель, далеко не отражающая всей сложности «течения» времени. Однако установление инвариантности скорости света и теория относительности привели снова к необходимости совокупного рассмотрения пространства и времени в их неразрывном единстве. Так родилось физическое понятие «пространственно-временного континуума». Поскольку физика для естественных наук является родной наукой, разрабатываемые ею законы приложимы ко всем областям естествознания. Поэтому можно перенести понятие физического континуума (кстати, не противоречащего понятию математического континуума как непустого связного множества) на другие естественные науки. Это уже и делается. Так, континуумом растительности называют непрерывность растительного покрова, проявляющуюся в постепенном переходе от одного растительного сообщества к другому при их соседстве (пространственный континуум) и при смене одного сообщества другим во времени (временной континуум). Поэтому вполне правомерно введение понятия континуума и в другие естественные науки, в частности в геологию. Под континуумом следует понимать не только «идеализированную» модель, но и соответствующей ей конкретный объект, рассматриваемый не поверхностно, а как бы с проникновением в глубину событий, определивших начало, конец и историю его формирования, пространственные и временные изменения, а также эволюцию. При принятом сейчас подходе к геологическим объектам

(телам или их системам) изучаются их размеры, форма, состав и структура, а затем осуществляется привязка объекта к принятой геологической шкале времени (геохронологической шкале), причем часто геоизохроны, секущие тело, а иногда и ограничивающие его, проводятся произвольно. В природе такие геоизохроны вообще не существуют. Каждому геологическому континууму свойственно свое время, определяемое особенностями данного континуума. Такое «собственное» время может быть привязано к шкале времени более обширного (в пространственном и временном отношениях) «вмещающего» континуума и таким путем к единой геохронологической шкале Земли, играющей координирующую роль. Шкала «собственного» времени континуума значительно сильнее шкалы, вносимой извне. Понятие геологического континуума можно прилагать к слоям (пластам), магматическим телам, соляным куполам, рифовым и другим массивам, залежам полезных ископаемых (рудным, нефтяным, газовым и др.), геологическим формациям, рядам формаций, геосинклинальным системам и т. д.

Геологические континуумы могут объединяться в иерархические системы, а в этих системах различаться по рангу. Установление таких систем имеет прямое отношение к «структуре» геологического времени, установлению его иерархичности и наведению порядка в соотношениях хроностратиграфических шкал. В самом понятии геологического континуума заключен тот смысл, что любое геологическое тело имеет «собственное» геологическое время.

Самым крупным всеобъемлющим геологическим континуумом является планета Земля с ее составом, строением и развитием. Такой континуум единственный и поэтому может быть обозначен с большой буквы, как *Большой геологический континуум. Малый геологический континуум* представляется как произвольное геологическое тело, начальный временный рубеж которого определяется доступностью для исследования истории (времени, генезиса) непосредственными наблюдениями или с применением принципа актуализма. Этот рубеж можно считать примерно соответствующим максимальным радиометрическим возрастам коренных горных пород. Нижнюю пространственную границу Малого геологического континуума следует связать с максимальными глубинами бурения (12 км) и максимальными глубинами относительно уровня моря глубоководных океанических впадин (11,02). Таким образом, Малый геологический континуум доступен для непосредственных наблюдений или ретроспективных построений, основанных на распространенной аналогии (принцип актуализма), а главным инструментом в изучении Большого геологического континуума являются гипотезы, включающие изучение геофизических полей и деформаций Земли (твердые приливы, собственные колебания). Малый геологический континуум в отличие от Большого и заключенных в нем меньших континуумов, связанных с конкретными геологическими телами и их развитием, является произвольным, поскольку нижние возрастные и пространственные пределы его подвижны и зависят от степени изученности. А так как изученность

поверхности планеты неравномерна, то нижние возрастные и пространственные пределы Малого континуума различны в разных частях Земли. Так, например, в океанах его нижний возрастной предел по имеющимся биостратиграфическим и радиометрическим данным значительно моложе, чем на континентах.

## ГЛУБИННАЯ ТЕКТОНИКА

Особо нужно выделить понятие *глубинной тектоники*, объектом которой в пространственном смысле является область Большого континуума, с исключением из нее области Малого континуума. Предметом глубинной тектоники являются соответствующие квазистатические и геодинамические модели, включающие рассмотрение недоступных для непосредственного наблюдения глубин Земли. Увязка этих моделей с геологической ситуацией, наблюдаемой на поверхности Земли, весьма важна, хотя в принципе могут быть геодинамические модели, связанные только с большими глубинами Земли. Наконец, глубинная тектоника обладает и историко-геологической функцией. Это можно пояснить так. Историческая геология, основанная на непосредственных наблюдениях над горными породами, геологическими (природными и экспериментальными) процессами и принципами актуализма, позволяет заглядывать в глубь истории вплоть до раннего архея. Здесь мы имеем дело только с историей поверхности Земли или самой внешней ее оболочки. На больших глубинах протекают особые геодинамические процессы, и надо полагать, создаются и размещаются гипогенные геологические тела и границы (учитывая твердое, жидкое и возможно другие агрегатные состояния вещества), происходит эволюция вещества и процессов, т. е. совершается какой-то исторический процесс. Гипотетические реконструкции этих процессов связаны с геодинамическими гипотезами.

## ГИПОТЕЗЫ

В связи со сказанным необходимо рассмотреть вопрос о *гипотезах* и некоторые другие, с ним связанные. Это вопрос методологии, но какая наука может обойтись без нее? Исследования Большого геологического континуума, где эти гипотезы необходимы, требуют определенной методологии, позволяющей нам находить относительно правильную ориентировку в этом огромном пространстве времени — Земле. Методология, изложенная выше,— лишь первая ласточка в этом направлении; полет ее нужно еще долго корректировать, она должна совершенствоваться или разрабатываться новыми путями; но она необходима, без нее в Большом континууме делать нечего. В нем мы блуждаем среди хаоса «истин» и «ошибок» и крайне редко уверенно находим различия между ними. Приближение к истине зависит от постановки задач, разработанности методов, средств исследований, оценки уже имеющихся фактов и идей.

В пределах Малого континуума мы изучаем складки, сбросы и другие объекты структурной геологии, платформы с чехлами и верхними частями фундаментов, геосинклинальные системы (за исключением геологических корней эвгеосинклиналей), современные геологические процессы, включая современные тектонические движения, реконструируем геологическую историю, процессы геологического прошлого и разрабатываем проблемы генезиса различных геологических объектов.

В Большом континууме мы опираемся преимущественно на геофизические наблюдения, гипотезы и математические модели, охватывающие пространственные и временные аспекты объекта.

Гипотезы, в сущности, нужны и для Малого и для Большого континуума. В первом случае, в принципе, они непосредственно проверяемы. Это — рабочие гипотезы. Например, выдвинув гипотезы о состоянии и положении тел или хода процессов на глубинах, доступных бурению, мы вправе поставить вопрос о проведении глубоких скважин или других выработок для проверки этих гипотез; при этом мы вправе рассчитывать на получение однозначных («окончательных») данных.

Во втором случае гипотезы в указанном смысле нельзя непосредственно проверять, но они могут проверяться косвенно различными методами (изучение прохождения и затухания упругих волн землетрясений, изучение собственных колебаний Земли, изучение гравитационного магнитного, теплового полей и т. д.). В таком случае некоторые результаты, полученные различными методами, в различных точках или условиях, могут трактоваться как сходные, как вызванные одинаковыми причинами. Здесь оговоримся, что при сходстве признаков причины могут быть разными. Отсюда происходит множество разнотолкований в определении генезиса. Непротиворечивость результатов, полученных разными методами, говорит в пользу большей достоверности гипотезы, построенной на основе этих методов. В этом случае можно говорить о более или менее достоверных гипотезах. Естественно, что истинность решений, основанных на гипотезах, имеет ту или иную вероятность, которую, впрочем, количественно трудно оценить. Вероятность решений, основанных на гипотезах, можно оценивать лишь относительно.

В письмах В. И. Вернадского к Б. Л. Личкову есть интересные высказывания о гипотезах. *Научная гипотеза* (подходящая к Большому геологическому континууму, но и не только к нему) — предположительный вывод, основанный на некоторых принципах и правилах (например, метод аналогии). Всегда имеет вероятностную природу. Может подсказывать пути к дальнейшему исследованию вопроса. Служит для создания программы научных исследований. *Рабочая гипотеза* (относится исключительно к Малому континууму и непосредственному решению практических задач) — гипотеза, разрабатываемая более быстро и обычно по принятым стандартам (может быть основана на интерпретации, экстраполяции, аналогии и т. д.). Предназначена для быстрой практической

проверки. Служит для оперативного определения направления работ; это, так сказать, тактическое средство. *Догадка* — предположение, основанное на интуиции. Первые два определения очень хороши и конструктивны, а в третьем несколько принижается роль «догадки» (по С. И. Ожегову: догадка — предположение, основанное на недостаточных данных; отсюда «теряться в догадках», а вот из определения В. И. Даля следует, что догадка — сметливость, смышленность, находчивость, а это ближе к науке, во всяком случае, к умственной деятельности). Я бы несколько возвысил значение слова «догадка», сославшись на высказывание И. В. Гёте о том, что «есть гипотезы, где рассудок и воображение становятся на место идеи» [Гёте, 1964, с. 349]. Здесь идея рождается, по-видимому, при помощи научной сметливости, смышленности и находчивости ученого, которые обязаны его опыту и таланту. И. В. Гёте и называет идею результатом опыта, созревшим для идеи.

Геолог-исследователь должен отдавать отчет, находится ли он в сфере Малого континуума, осуществляет ли он переход от Малого континуума к Большому или же он находится в сфере Большого континуума (вполне правомерно включающего Малый) — от этого всегда будут зависеть избранная методика и постановка задачи.

Г. Хесс [«Новая глобальная...», 1974, с. 11] среди многих гипотез и возможных альтернатив пытается выбрать наиболее приемлемое, но, может быть, ни один компетентный читатель, обладающий хоть каплей воображения, не согласится признать ни одну из них. Однако, если же ввести такого рода ограничения (речь идет о принципе униформизма и о некоторых априорных представлениях о начальном этапе развития планеты.— *Ю. К.*), каждая гипотеза приобретает бесчисленное число вариантов, а сама геопоэзия лишается и рифмы и смысла. Истолкуем это так: в Большом континууме, где все решения лишь вероятностны, чтобы не впадать в полный агностицизм, необходимо иметь принципы, организующие и дисциплинирующие мышление. Стройность и организованность концепции, опирающейся на те или иные принципы, будут служить одним из критериев ее истинности (конечно, относительной и вероятностной) и перспективности. Таким образом, в океане гипотез их «зарифмованность» может служить одним из критериев истинности вероятностных решений. Образно выражаясь, канвой геодинамической концепции, относящейся к Большому континууму, является то, хорошо ли она «зарифмована», т. е. упорядочена и непротиворечива. Представляется, что приемы и законы поэтики (общей, описательной и исторической) представляют собой очень удачную образную модель для системы исследований Большого континуума. Поэтому термин «геопоэзия», ранее звучавший саркастически, приобретает положительный смысл. Однако в представлениях о глубинной тектонике кроме заботы об их стройности мы должны стремиться в первую очередь к тому, чтобы согласовывать их с фактами, наблюдаемыми (измеряемыми) на (или вблизи) поверхности Земли.

## ДИАПАЗОН МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ

Наша геологическая литература не очень богата формулировками методологических установок авторов. Но все же такие формулировки встречаются.

Очень хорошо пишет К. Буллен [1978] по вопросу о моделях: «У нынешних авторов, пишущих о Земле (даже у крупных специалистов), проявляется сильная тенденция быть чрезмерно «черным» или «белым» в своих высказываниях — этакая готовность «доказывать» и «отвергать» и объявлять «верными» и «неверными» свои собственные и чужие результаты в тех случаях, когда более разумной была бы осторожная вероятностная оценка. Я стремился избегать таких слов, как «доказано», «верно», «ложно», «правильно», «ошибочно», «справедливо», «несправедливо», кроме как в формальных дедуктивных выводах. При аргументации же по индукции я пытался «делать вывод», а не «утверждать».

А вот другая группа высказываний. В представлениях Д. В. Смита, рассматривающего вопросы ранней истории Земли, основу составляют не геологические или физические, а скорее психологические предпосылки или, иначе говоря, непроверяемые догадки. Он так и пишет: «Я позволю себе подчеркнуть свое *пристрастие к катастрофическим процессам,* приводящим к расплавлению планет..., а также отметить свое *психологически обусловленное пристрастие* (курсив наш.— *Ю. К.*) к петрологической модели Луны Смита и др. [«Ранняя история...», 1980, с. 9], т. е. к своей собственной модели. Конечно же, такой подход, при котором сразу же устраняется логическое начало, не может быть признан научным. Он скорее эмоциональный, но его приходится рассматривать, так как он относится не только к новейшим публикациям, но и к капитальной книге, переведенной на русский язык в качестве, как написано в предисловии, «современных идей... видных специалистов», представляющих «большой интерес» [«Ранняя история..., 1980, с. 7].

В высказываниях палеомагнитолога В. Вакье [1976] проявляется некоторая самокритичность. Он пишет в предисловии к своей книге: «При отборе статей, цитируемых в монографии, личное отношение было неизбежным, особенно если мы не могли согласиться с авторами этих работ по некоторым вопросам. Работы, в которых, по нашему мнению, содержатся ошибочные выводы и которые не обсуждаются в тексте, в список литературы не включены... Иногда для ясности и краткости изложения мы позволили себе категоричные утверждения, хотя более уместным было бы сдержанное обсуждение доводов «за» и «против» [1976, с. 9—10].

Виден различный подход исследователей к решаемым проблемам, не всегда отвечающий естественным и необходимым требованиям, которые следует предъявлять к научным разработкам.

# ГЛАВА II
# СЛОИСТАЯ СТРУКТУРА И ЕЕ ДИСЛОКАЦИИ

## ХАРАКТЕРИСТИКА СЛОИСТЫХ ТОЛЩ

Выделение и описание слоистых структур Земли лежит в основе тектонических исследований, так как, во-первых, только путем изучения слоистой структуры можно установить последовательность событий, определяющих развитие структуры гипергенной оболочки, во-вторых, вся совокупность тектонических форм может быть представлена как усложнение слоистой структуры. Закономерности в последовательности напластования слоистых толщ дают основание для восстановления геологической истории и построения общей стратиграфической шкалы.

Слоистая структура является одним из атрибутов планетарного уровня организации вещества. Понятие это значительно шире, чем представление о строении накопившихся на земной поверхности и распределенных по ней в соответствии с действием гравитационных сил толщ осадочных и вулканогенных пород. Слоистое строение характерно не только для гипергенной оболочки. Атмосфера расслоена по плотности, температуре, электрическим характеристикам, химическому составу; стратифицированными бывают и водные массы. Черноморские, беломорские, балтийские воды, например, имеют значительное различие солености на разных глубинах. Для теплого Японского моря существует даже понятие «глубинная Арктика». В тропическом поясе температура воды на наибольших глубинах близка к 0 °С. Во всех этих и многих других распределениях слоев проявляется действие силы тяжести. Слоистая структура атмосферы и гидросферы неустойчива, слои же гипергенной оболочки «консервируют» следы воздействия земного поля силы тяжести, существовавшего во время формирования этих слоев. Если даже сузить предмет рассмотрения только до «слоев земных», охватывающих гипергенную оболочку и подстилающие ее массы, понятие «слоистая структура» остается достаточно многогранным.

Обычно слоистость определяется поверхностями напластования и литологическими разделами, наблюдаемыми в обнажениях или в разрезах скважин. Однако слои можно выделять и по другим признакам — по электрическому сопротивлению (электрокаротаж), по скорости прохождения упругих волн, по биостратиграфическим (палеонтологическим) характеристикам. Если понимать слоистую структуру в таком обобщенном смысле, то она свойственна земному шару в целом (сферической слоистой структуре планеты, земной коре, гипергенной оболочке и отдельным толщам, участвующим в ее строении).

Слоистая структура охватывает огромный диапазон от первого (наиболее мощный слой — мантия мощностью 2700 км) до десятого порядка размера входящих в нее слоев. К одиннадцатому порядку относится микрослоистость (слои толщиной менее миллиметра). Слой и любая совокупность смежных слоев, которая объединена общими значениями каких-либо свойств вещества и, следовательно, может быть также выделена как слой, представляет собой элемент слоистой структуры.

Слоистая структура связана с гравитационным распределением вещества в геологическом пространстве. Так, формирование слоистой структуры может происходить в результате фазовых изменений и изменений напряженного состояния вещества на глубине, глубинных перемещений (течения вещества), гравитационной дифференциации вещества при застывании плутонов, 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.

Слоистые структуры (слоистость), создаваемые глубинными изменениями и перемещениями вещества в земной коре и мантии, могут быть в известной степени неустойчивыми, т. е. положение их может изменяться в связи с гравитационным режимом течения, изменением фазовых, напряженных и агрегатных состояний. Об этом, например, говорит соответствие между неотектоническими движениями и гравитационным полем.

Существование слоистых структур «неподвижных» и «подвижных» относительно био-литостратиграфических границ особенно подчеркивает необходимость использования принципов специализации во всех построениях, касающихся слоистой структуры.

Расчленение разреза есть разбиение геологического пространства (в данном случае одномерного) на геологические тела или выделение геологических тел. Разрезы могут расчленяться по разным специализациям. 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 так далее. В результате такого последовательного объединения слоев может быть установлена иерархия слоев. Положение слоя в иерархии представляет его ранг. В литостратиграфической иерархии слоев комплекс является слоем высшего ранга; следующие более низкие ранги будут соответствовать серии, свите, пачке, горизонту и слоям (Б. М. Келлер) или эпейролитеме, эврилитеме, комплексу, синклезу, свите, подсвите, звену (А. М. Криштофович) или же подсерии, толще, свите, подсвите, ступени, пачке, пласту (Н. Б. Вассоевич). Периодическое повторение в разрезе определенной и ограниченной последовательности слоев различного литологического состава носит название ритмичности или цикличности.

В биостратиграфической иерархии принято выделять группы, системы, отделы, ярусы, подъярусы, зоны.

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 и 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 сложные слои высших рангов. Группирование слоев в ритмы и циклы не только представляет собой один из способов перехода к слоям высших рангов, но и является средством исследования периодических процессов, влияющих на осадконакопление и слоеобразование.

Важнейшей задачей при изучении слоистой структуры является стратиграфическая корреляция.

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 надо определить специализацию, по которой 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. Основой стратиграфической корреляции является отождествление маркирующих тел, не повторяющихся в разрезе.

Понимание термина «стратиграфическая корреляция» неоднозначно. В исследовании слоистости и вопросов ее синхронизации основная роль принадлежит Н. А. Головкинскому. Он считал, что общепризнанное убеждение в последовательности образования друг на друга 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 формаций, которые аналогичны в одном из названных отношений.

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

Важным в 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 отношений между собственными и несобственными признаками. Примером служит прослеживание литологических границ по электрическим или магнитным свойствам, биостратиграфических границ — по литологическим свойствам,

прослеживание сейсмической границы — по гравиметрическим данным на основе графиков корреляционных зависимостей.

Под стратиграфическими границами мы понимаем границы в слоистой структуре любой специализации, т. е. проведенные по любому набору признаков. В этом смысле глубинные скоростные границы тоже представляют собой стратиграфические границы, с которыми, однако, нельзя связывать ретроспективные реконструкции.

С несоответствиями разбиений пространства по палеонтологическим и по литологическим признакам связано «возрастное скольжение» литологических границ. Если одна из границ, обычно биостратиграфическая, принимается за «поверхность одновозрастности», то пересекающаяся с ней неизбежно должна квалифицироваться как «скользящая по возрасту» (рис. 4).

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 «собственными» границами, и что такие специализации могут быть найдены, следует поставить вопрос об отборе таких полезных несобственных специализаций.

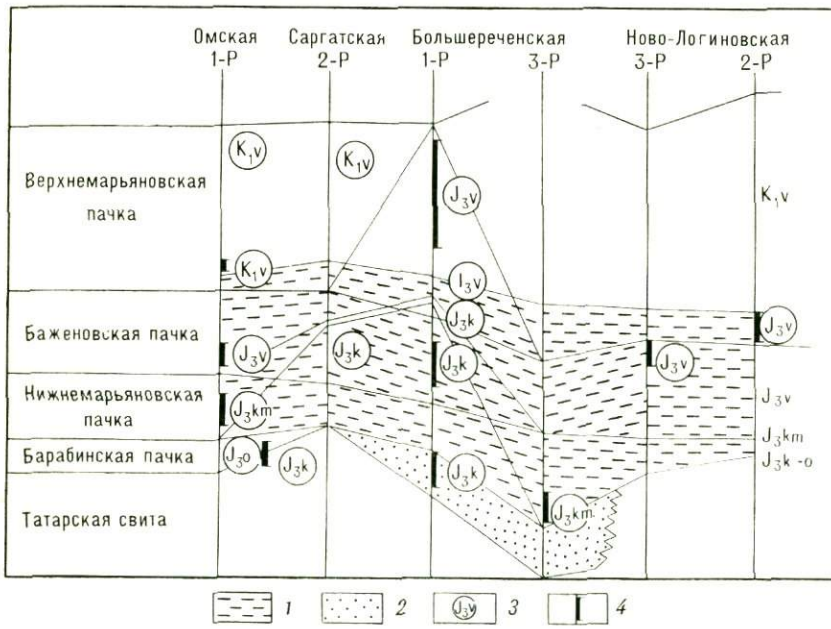



Рис. 4. Несоответствие слоев, выделяемых по литологическим и палеонтологическим признакам, в мезозойских отложениях Западной Сибири. По Л. Я. Трушковой (1967 г.)

*1* — аргиллиты; *2* — песчаники; *3* — местонахождение фауны: келловея ($J_3k$), оксфорда ($J_3o$), кимериджа ($J_3km$), волжского яруса ($J_3v$) и валанжина ($K_1v$); *4* — интервал распространения фауны по разным скважинам

Методика отбора полезных специализаций, основанная на теории отношений и использовании матриц, была предложена автором и Ю. С. Салиным. В самом общем виде подход может быть описан следующим образом. Есть два разреза, в которых выделены одномерные тела. Принимается, что заданная целевая специализация — литологическая. Коррелированы, объединены в одно и то же непрерывное двумерное тело в соответствии с принятым определением понятия «геологическое тело» могут быть только одномерные тела разных разрезов, имеющие один и тот же литологический состав. Так обстоит дело при прослеживании толщ, свит, пластов.

Разновозрастность геологических объектов традиционно определяется на основе закона Стено: выше — значит моложе. Одновозрастность определяется на основе закона Смита: сходство по палеонтологическим признакам может быть истолковано как возрастная эквивалентность. Но даже если сопоставляемые отложения и не содержат ни одной окаменелости, геолог все равно выделяет и прослеживает от разреза к разрезу одновозрастные группы слоев, толщи, свиты. При этом он руководствуется литологическим сходством. Закон, позволяющий синхронизировать разрезы по литологическим признакам, обычно связывается с именем А. Г. Вернера.

## Проблемы времени в геологии

Понятие времени, как и любые другие фундаментальные понятия,— прежде всего исследовательский инструмент, создаваемый для решения каких-то задач. Время в физике нужно для упорядочения хаоса событий. Набрасывая временную координатную сетку на множество событий, мы получаем возможность изучать их распределение, устанавливать закономерности. Для тех же целей время используется и в геологии. Чтобы найти закономерности в размещении бесчисленных тел, свит, пачек, слоев, линз, фаций, на них также нужно набросить временную координатную сетку.

Однако ни в геологии, ни в физике названных условий недостаточно для однозначного определения времени. Упорядочить можно по-разному, и одно упорядочение будет противоречить другому. В физике оно базируется на общефизической прагматике. Если физику можно считать наукой о взаимодействиях тел, процессов и явлений, то и понятие времени, удовлетворяющее общей цели физики, должно определяться через взаимодействия. Если одно из событий воздействует на другое, то воздействующее считается происшедшим раньше, а то, на которое оказывается воздействие,— происходящим позже. Одновременными считаются такие события, ни одно из которых не может воздействовать на другое.

Подход к построению латеральных событий в геологии иной, отвечающий целям геокартирования. Именно для прослеживания от разреза к разрезу единого непрерывного геологического тела и

были введены такие временные геологические понятия, как геохронологическая шкала, возраст, эквивалентность, возрастной диапазон и т. д.

Распространение в пространстве начала некоторого события можно использовать для установления физической разновременности так же, как используется распространение сигнала в эйнштейновской теории относительности (скорость света).

Есть нечто общее в сигнальной концепции А. Эйнштейна и понятии гомотаксиса по Т. Гекели. Как утверждает Т. Гекели, палеонтологические события, например, определяющие начало геологической эры, могут распространяться крайне медленно от континента к континенту в течение многих миллионов лет. Но, согласно сигнальной концепции, важны не значения различных скоростей, а их соотношения. Если некоторое воздействие распространяется медленнее палеонтологического события, то это палеонтологическое событие, достигнув любого места, застанет там ситуацию, не подвергшуюся более медленно распространяющемуся воздействию. Такая относительная сигнальная одновременность может быть названа *рептохронностью* (от лат. репто — ползти).

Если наблюдаемые человеком геологические процессы можно соотнести с «абсолютным» временем (солнечное, звездное время можно считать абсолютным для современных геологических явлений), то логическое время, построенное в ретроспективе, никак нельзя соотносить с каким-либо более «точным» эталоном, и мы вынуждены считаться с тем, что понятие геологической одновременности является рептохронным и связано подчас с очень малыми скоростями распределения вещества по поверхности Земли.

В восстанавливаемую историко-геологическую картину входят, как правило, только литологические и биологические события, связанные с геологическими континуумами разных рангов.

*Хроностратиграфическое поле* — множество точек, для каждой из которых установлено возрастное отношение (последовательность или эквивалентность) к любой другой точке,— может строиться прямо по данным неполноопределенного пространства. Количество всех элементов этого множества назовем *мощностью хроностратиграфического поля*. В хроностратиграфическом поле определяются возрастные отношения, которые позволяют перейти к *геохронологической шкале*.

В связи с возрастными отношениями обратимся к понятию геологического континуума. В любом геологическом континууме (пласт, свита, формация и т. д.) может и должно быть определено «собственное» геологическое время и построена собственная геохронологическая шкала. Так как стратиграфическое расчленение геологического континуума может быть осуществлено в различных специализациях (т. е. с использованием различных списков *вещественных свойств*), то и собственное геологическое время будет основано на установленной последовательности событий, реконструированных по признакам данной специализации. Таким образом, через специализацию событий намечается возможность

применения принципов специализации к геологическому времени, т. е. к определению геологического (реконструированного, логического) времени через вещество. Определение как пространства, так и времени через вещество представляет одно из конкретных оснований рассмотрения пространства и времени только в их неразрывном единстве.

Корреляция отдельных геологических континуумов может производиться по шкалам единой специализации или же по надежно взаимно коррелирующимся шкалам разных специализаций. Так, в пределах нефтяных месторождений могут сопоставляться разрезы скважин, охарактеризованные кернами, с разрезами скважин, охарактеризованных электрокаротажем.

Общая хроностратиграфическая шкала для вмещающего континуума может быть построена по специализации, которой соответствует наиболее мощное хроностратиграфическое поле. К общей шкале могут быть привязаны континуумы, для которых собственное время принятой для общей шкалы специализации не может быть определено ни путем ретроспективных построений, ни при помощи надежной корреляции. В этом случае осуществляется структурная привязка к общей шкале путем использования принципа Стено. Общая хроностратиграфическая шкала, относящаяся к гипергенной оболочке, в целом называется Единой стратиграфической шкалой (ЕСШ).

Поскольку в принципе можно найти более чем одну специализацию, мощность хроностратиграфического поля которой достаточна для построения ЕСШ, то можно допустить существование нескольких специализированных ЕСШ. Пока нас устраивает ЕСШ, основанная на биостратиграфических признаках, однако с ней конкурирует радиометрическая шкала, более предпочитаемая для раннедокембрийских толщ, очень бедных остатками организмов.

От принятых нами в издании 1983 г. терминов — «шкала-инструмент» и «шкала-модель» следует отказаться, так как геохронологические шкалы разных рангов являются одновременно и моделями, позволяющими делать прогнозы, и инструментами увязки отдельных разрезов и различных собственных шкал-моделей.

### Метрика геологического времени

Введение метрики во временную геологическую последовательность представляется очень полезным. В этом случае мы смогли бы говорить не только о том, какое из отложений в последовательности моложе, а какое древнее, но и на сколько моложе, во сколько раз древнее, смогли бы внести «меру и число» во все историко-геологические построения.

Известны многочисленные попытки метризации геологического времени. Многие из них основаны на посылках равномерности процесса осадконакопления: по И. Д. Лукашевичу (1922 г.) отложение осадков в разные периоды совершалось приблизительно с оди-

наковой скоростью; по Д. Дэна (1874 г.) «накопление осадков в прошлом шло с той же скоростью, что в настоящее время»; по И. Вальтеру (1911 г.), «реки всегда переносили в океан такое же количество растворенного вещества, как в настоящее время».

Однако попытка ввести метрику в форме масштаба мощностей оказалась неприемлемой, так как мощность отложений, заключенных между одними и теми же возрастными границами, установленными по геохронологической шкале, зачастую меняется от разреза к разрезу настолько существенно, что не сохраняется даже порядок ее величин.

Гораздо более серьезные надежды возлагались и возлагаются до сих пор на радиологические способы построения шкалы «абсолютного» времени, фиксируемого величиной периода полураспада. Этот подход оказался несравнимо более приемлемым, чем допущение постоянства скорости седиментации, так как представляет физический закон. Но надежности основной аксиомы оказалось недостаточно, чтобы оправдать всю аксиоматическую систему построения «абсолютного» возраста. Другие тезисы, необходимые для использования в геологии всей конструкции,— об отсутствии привноса и выноса дочерних и материнских продуктов распада — стали недопустимо слабым звеном во всей цепи логического вывода «абсолютных» геохронологических понятий. В результате, когда выяснились многочисленные противоречия между датировкой объектов с помощью традиционных методов на базе законов Стено и Смита — Вернера и с помощью радиохронологии, под сомнение были поставлены радиологические выводы. «Абсолютная» хронология была признана хотя и полезным, но вспомогательным методом, применимым под контролем геологических данных. Вопрос о метрике геологического времени приходится считать лишь поставленным, актуальным, но не разрешенным.

### Фации. Генетические характеристики

Под *фациальными признаками* 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 применение этого термина можно распространить на магматические и метаморфические образования. Под *фациальными условиями* (для осадочных пород) понимается совокупность физико-географических условий (обстановки) отложения и диагенеза осадков. В отношении изверженных пород можно говорить об абиссальных и гипабиссальных фациальных условиях. По отношению к метаморфическим породам говорят об амфиболитовой, эпидот-амфиболитовой, эклогитовой и других фациях, имея в виду соответствующие термодинамические условия протекания процесса метаморфизма.

Введение в геологию обобщенных понятий о фациальных признаках и условиях представляется необходимым в интересах со-

здания общего языка для специалистов, работающих в области осадочных, изверженных и метаморфических пород.

Области распространения, геологических образований, обладающих определенными фациальными признаками, следует называть *фациальными зонами* (условные геологические тела третьего класса). Сопоставление же фациальных зон с неусловными геологическими телами позволяет дать фациальную характеристику последних. Например, можно дать характеристику слоя как монофациального или полифациального, а также выделять различные фациальные зоны в пределах того или иного геологического тела.

Часто устанавливаемое совпадение границ фациальных зон, построенных по генетическим характеристикам, с границами резкостных геологических тел может создать впечатление, что сами эти тела выделены по генетическим признакам. Это обстоятельство в ряде случаев приводит к смешению вещественных и генетических признаков и потере критериев правильного выделения геологических тел.

Названия минералов и пород в названиях фаций следует рассматривать не как характеристику состава, а как *генетические индексы*. Пригодны в качестве индексов фаций минералы аутигенные и эпигенетические. Фации могут характеризоваться теми остатками 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 кладбищем.

Существует тенденция выделения частных фаций (литофаций, биофаций) или «топов» — участков (биотопов, литотопов и т. д.). Но путем суммирования частных «топов» и частных «фаций» нельзя получить достаточно полную фациальную характеристику вещества. Вопрос о генезисе вещества и его принадлежности к той или иной фации надо решать по 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 путей решения этого вопроса. Поскольку понятие фации должно носить обобщенный характер в применении к осадочным, изверженным и метаморфическим породам, должны быть разработаны общие принципы выделения фаций, фациальных зон.

## Мощность слоев

Мощность слоя (его толщина) определяется как расстояние между ограничивающими слой поверхностями напластования. На протяжении слоя мощность обычно не остается постоянной, а меняется от одной точки к другой. Распределение мощностей вдоль

линии может изображаться в виде диаграмм мощностей, а для какого-либо участка земной поверхности — *картами равных мощностей или картами изопахит* (изопах).

Диаграммы мощностей и карты изопахит являются пространственным изображением слоя как геологического тела, охарактеризованного только размерами и формой. Однако если по ряду свойств образующего слой вещества можно предположить, что оно отлагалось на выровненной поверхности, которая в первом приближении может быть принята за горизонтальную, и если слой формировался в постоянном положении относительно уровня моря или другой условной уровенной поверхности, то диаграммы мощности и карты изопахит могут быть использованы для определения суммарной амплитуды вертикального перемещения поверхности Земли во время отложения слоя. Для того чтобы провести такие построения, надо, кроме того, знать, искажено ли, как искажено и насколько искажено первоначальное распределение мощности слоя в результате деформаций, которые могли иметь место после формирования слоев.

Большие искажения мощности слоя свойственны районам с напряженной тектоникой. К таким искажениям мощности можно отнести изменения мощностей менелитовой свиты в опрокинутых складках Восточных Карпат, где, очевидно, в процессе формирования складки имело место интенсивное выжимание слоев. Образование соляного массива (ядра соляного купола) также является типичным случаем резкого искажения мощности вследствие аккумуляции огромных масс соли за счет оттока ее из прилежащих участков соленосной толщи. Искажения мощности слоя можно рассматривать как результат механических преобразований.

Первичные распределения мощностей обычно связаны с самим процессом формирования слоя. Примером может служить толща терригенных осадков, моноклинально залегающих на северо-западном склоне Кавказа, распределение мощностей слоев продуктивной толщи в куполах и на крыльях диапировых складок Апшеронского полуострова, в надсолевой структуре эмбенских куполов, в палеозойских отложениях, образующих платформенные складки Волго-Уральской области, и т. д. Во всех этих случаях мощности связаны с одновременными осадкообразованию тектоническими движениями. Однако первичные распределения мощностей не всегда обусловлены тектоническими движениями; они могут быть также связаны с облеканием древнего рельефа и с заполнением впадин.

Рассмотрим три случая изменения мощностей целой свиты или толщи:

1) мощность толщи связана с распределением мощностей отдельных прослоев внутри ее; толща располагается согласно на нижележащих отложениях и согласно же перекрывается вышележащими отложениями; изменение мощности толщи характеризует тектоническую обстановку ее формирования в течение времени всего занимаемого ею хроностратиграфического интервала;

2) мощность толщи изменяется вследствие трансгрессивного налегания ее на нижележащие комплексы отложений; величина мощности и ее изменения характеризуют полноту разреза, указывают, что в районах, где мощность толщи больше, она начала формироваться раньше, а где меньше — позднее;

3) мощность толщи изменяется вследствие несогласного срезания верхней ее части; первичное распределение мощностей искажается размывом, и суммарная мощность толщи также не отражает особенностей тектонической обстановки ее формирования.

В действительности часто все три случая сочетаются; и для того, чтобы разобраться, в какой мере мощность толщи в целом обусловлена первичным распределением мощностей слагающих ее слоев, трансгрессивным ее налеганием на нижележащие комплексы и последующим срезанием верхней ее части, надо знать структуру толщи, т. е. особенности расположения в ней отдельных ее элементов — слоев или их сочетаний.

Суммарное распределение мощностей толщ обычно изображается изопахитами. Однако при использовании таких изопахит для историко-тектонического анализа необходимо выяснять внутреннюю структуру толщи.

Сокращение мощностей слоев в процессе их погребения под вышележащими осадками должно учитываться как один из тектонических факторов. Во-первых, такое уплотнение существенно искажает первоначальные мощности, данные о которых используются для суждения о скоростях заполнения понижений рельефа. Во-вторых, такое уплотнение, неравномерно распределенное по площади, может приводить к образованию изгибов слоев, а также сбросов в глинистых и алевритовых толщах. Примером этому могут служить деформации в некоторых глинисто-алевритовых пачках карбона и девона Восточно-Европейской платформы. В-третьих, в глинистых толщах с мощными песчаными линзами (например, угленосный горизонт бортов Московской синеклизы) в результате уплотнения могут образоваться складки с амплитудами в несколько метров, а иногда и более десятка метров. Выпуклая часть складок соответствует участкам с крупными песчаными линзами, где содержание глин по разрезу невелико и, следовательно, невелико и сокращение мощностей всей толщи в целом. Вогнутые же части складок соответствуют участкам, где почти весь разрез сложен глинами и сокращение мощности является максимальным.

Возникающие таким путем *складки уплотнения* наблюдаются в пределах толщ указанного выше характера; в подстилающие слои они не распространяются, однако нижние горизонты перекрывающих толщ иногда испытывают изгибы, соответствующие складкам уплотнения.

В 30—40-х годах получил большое распространение метод мощностей, разработанный В. В. Белоусовым и его последователями. Важную роль этому методу придавали Н. С. Шатский и А. Л. Яншин. Следует отметить, что метод анализа мощностей

появился и развился именно тогда, когда в тектонику стало входить вещество, и послужил мощным средством количественной оценки вещества в тектонике. Важную роль сыграл также метод объемного анализа А. Б. Ронова. Придавая большое значение методу анализа мощностей в развитии геологии, отметим, что он возник в результате детальных разведочных работ, интенсивно проводившихся в 30—40-х годах в связи с энергичным развитием минеральной базы страны. В настоящее время этот метод как бы забыт. Вместе с тем он является основой понимания многих процессов, связанных с формированием гипергенной оболочки и ее слоев, заключенных в ней полезных ископаемых. Тектонические движения и вещество лежат в основе метода анализа мощностей. Весь анализ мощностей был построен в расчете на оценку вертикальных движений, тогда как уже давно, еще в период признания их безусловного приоритета, было ясно, что речь могла идти только об оценке вертикальной компоненты движений, на деле более сложных. Сейчас, когда многие исследователи отдают приоритет горизонтальным движениям, метод анализа мощностей, часто отбрасываемый как орудие «вертикализма», должен быть переоценен в связи с новыми концепциями и взят на вооружение теории и практики геологоразведочных работ. При этом, конечно, следует учитывать широкое распространение явления бокового наращивания мощностей (как в дельтах), когда замеренные мощности в последовательности наклонных «линз наращивания» значительно превышают фактическую мощность толщи.

### Согласное и несогласное залегание слоев

Одним из типов структурных отношений является *согласное и несогласное залегание слоев.*

*Согласным залеганием* двух смежных слоев называется такое их структурное отношение, при котором одна из границ напластования, ограничивающая один из слоев, на всем его протяжении является также границей напластования другого слоя. Иными словами, кровля одного слоя этой пары является подошвой другого слоя. Согласное залегание любой совокупности (серии) слоев определяется тем, что любая пара смежных слоев, входящих в эту серию, характеризуется согласным залеганием. В иных случаях имеет место *несогласное залегание.*

Общая граница между слоями первой и второй серий, вдоль которой определено структурное отношение этих серий как несогласное залегание, называется *поверхностью несогласия.*

Поверхность несогласия всегда может быть приведена в соответствие с некоторой поверхностью перерыва, если расчленение хроностратиграфического поля, в котором проведена эта поверхность, достаточно детально, чтобы отразить различие геологического возраста слоев, разделяемых рассматриваемой поверхностью несогласия.

Два смежных слоя, разделенные поверхностью перерыва, сле-

дует считать несогласно залегающими, поскольку при движении вдоль этой поверхности можно рассчитывать на появление новых слоев, сформировавшихся во время, отвечающее рассматриваемому перерыву. В таком случае верхний из двух слоев окажется залегающим на нескольких слоях, что характерно для несогласного залегания. Следовательно, любая поверхность перерыва может рассматриваться как поверхность несогласия.

Поверхность несогласия может быть охарактеризована определенной протяженностью, размерами и формой в плане, а также угловыми соотношениями слоев нижней и верхней серий (углом несогласия) в каждой точке этой поверхности.

Поверхность несогласия по своим размерам и форме в плане отвечает области, в пределах которой отложения или не формировались или происходил их размыв. Такими областями могли быть или область древних поднятий земной поверхности, время воздымания которых отвечает возрасту поверхностей перерывов, или древние речные долины и эрозионные впадины иного происхождения, или, наконец, размывавшиеся течениями участки морского дна. Условия образования древнего поднятия, крупного или небольшого по размерам, могут влиять не только на размеры и форму поверхности несогласий, но и на частоту их встречаемости в вертикальном разрезе осадочной толщи на площади этого поднятия. В первом приближении может быть принято, что если поверхность Земли в период формирования рассматриваемого поднятия лежит ниже уровня моря, то одновременно с ростом поднятия происходит накопление осадков, если же она лежит выше уровня моря, то осадки не отлагаются или же происходит их размыв; так возникает перерыв в формировании осадочной толщи и соответствующее ему несогласие. Отсюда следует, что уровень моря мог бы рассматриваться как некоторая «критическая» поверхность в формировании осадочной толщи, положениями которой (поверхности) определяется согласное или несогласное отношение слоев в ней. Однако в действительности дело обстоит не так просто: поверхность, отделяющая область накопления осадков от областей размыва, имеет более сложную форму и занимает далеко не стационарное положение.

С одной стороны, местами происходят подводные размывы или снос уже образовавшихся осадков вследствие течений и явлений подводного оползания; таким образом, могут возникнуть нарушения непрерывности осадкообразования в области морского водоема без подъема поверхности дна выше уровня моря. С другой стороны, в континентальных областях, расположенных значительно выше уровня моря, происходило и происходит осадконакопление, которое может быть весьма интенсивным как вблизи крупных горных сооружений (молассовые толщи), так и в равнинных областях (континентальные серии некоторых платформенных синеклиз). Если учесть эти поправки, то окажется, что наличие перерыва в осадконакоплении не всегда свидетельствует о поднятиях, которые вывели поверхность из области накопле-

ния осадков в область размыва. Факт непрерывности разреза осадочных образований опять-таки не всегда свидетельствует об условиях непрерывного прогибания; непрерывный разрез может также формироваться при заполнении осадками межгорной впадины как крупной отрицательной формы рельефа, не испытывающей прогибания. Следует отметить, что понятие «непрерывности» осадочной оболочки является относительным и применяется нами с известной долей условности для обозначения толщ, лишенных крупных перерывов, так или иначе ощутимых при хроностратиграфических сопоставлениях.

Рассмотрим два случая возникновения несогласного залегания в осадочной толще в связи с ростом поднятий, а именно региональные и местные несогласия.

В случае значительных по площади, но медленных крупных поднятий возникают области сплошной денудации, происходят размыв и нивелирование поднимающихся возвышенностей. В процессе поднятия слоистая структура испытывает те или иные дислокации, причем формы рельефа, соответствующие возникающим структурным формам, разрушаются одновременно с их развитием.

При прекращении подъема, завершении размыва образовавшихся поднятий и новом погружении возобновляется формирование осадочной толщи, и вновь образующиеся слои располагаются на нижележащих деформированных и размытых слоях, отделяясь от них поверхностью несогласия. Такая поверхность несогласия распространяется на большую площадь и может быть названа *региональной поверхностью несогласия, или региональным несогласием*. Соответствующий этому несогласию перерыв в формировании осадочной толщи называют *региональным перерывом*. Примерами региональных несогласий и перерывов являются перерывы и несогласия в основании отложений девонской системы на Восточно-Европейской платформе, между юрой и палеозоем в Саратовском районе, между юрой и подстилающими породами в бортовых участках Вилюйской синеклизы, в основании девонских образований Минусинской впадины и т. д.

Региональные несогласия не представляют собой однородного геологического явления; они могут быть различными и зависеть от особенностей развития тех крупных структурных форм, с которыми они связаны.

Несогласия и перерывы, соответствующие небольшим по размерам поднимающимся участкам и сменяющиеся в стороны непрерывным и согласным залеганием слоев, называются *местными перерывами и несогласиями*. Как при региональных, так и при местных несогласиях можно (двигаясь по падению) проследить появление новых слоев и горизонтов, увеличение их мощностей, а также изменение их литологического состава.

Наряду с прослеживанием несогласий в горизонтальном направлении необходимо фиксировать их положение в разрезе. При этом может оказаться, что одни участки будут охарактеризованы

многочисленными несогласиями и частым их расположением в разрезе, другие участки, наоборот,— редкими несогласиями. Первые участки будут, как правило, соответствовать поднятиям или антиклиналям, формирующимся в процессе отложений данной осадочной толщи, а вторые — прогибам или синклиналям.

### Слоистая структура, возникающая вследствие гравитационной дифференциации вещества при застывании плутонов

*Гравитационная слоистость* плутонов стоит несколько особняком от общих проблем тектоники. С ее изучением могут быть связаны лишь локальные структурные задачи, однако она важна для изучения общих закономерностей гравитационного расслоения вещества Земли и выяснения генезиса ритмичной слоистости.

Гравитационная слоистость, наблюдающаяся в силлах, дайках, а также лополитах, выражается в изменении состава породы в вертикальном направлении. Породы ближе к основанию мощных силлов и лополитов обогащаются рудными компонентами, оливином, пироксеном и другими тяжелыми минералами, а выше — минералами легких (кварц-полевошпатовых) ассоциаций. Явления гравитационной дифференциации и процессы образования в результате нее пород и пластовых залежей в лакколитах, дайках, батолитах, лавовых потоках и вулканических жерлах на большом количестве примеров охарактеризованы Р. О. Дэли. Имеются детальные описания слоистой структуры, возможно, обязанной своим появлением гравитационной дифференциации. Так, для Ловозерского массива нефелиновых сиенитов установлено слоистое строение; во второй интрузивной фазе здесь выделены 174 прослоя мощностью от 0,1 до 158 м. Происхождение слоистости объясняется послойным внедрением расплавов, метасоматическим изменением первичнокислотной толщи, высказывается также предположение о том, что слоистость может образоваться в результате кристаллизационной дифференциации.

В плутонах Лосогорского габбро-пироксенит-дунитового комплекса в Алтае-Саянской области установлена ритмическая гравитационная слоистость. Главной особенностью ритмической расслоенности является понижение основности пород в верхней части каждого ритма и от ритма к ритму вверх по разрезу. Кристаллизация магмы здесь начиналась с придонных и распространялась к апикальным частям плутонов, причем каждый ритм кристаллизации охватывал ограниченный слой расплава.

---

Среди слоистых структур Земли различаются два главных типа структур различного происхождения. Во-первых, это слоистые структуры гипергенной оболочки, или *гипергенные слоистые структуры,* последовательность слоев которых отражает последовательность событий геологической истории и для которых действителен закон последовательности напластования; на исследо-

ваниях гипергенных слоистых структур основываются все историко-геологические построения. Во-вторых, *гипогенные слоистые структуры*, обусловленные перераспределением или изменением вещества ниже поверхности Земли. Формирование гипогенных слоистых структур также связано с событиями геологической истории, но последовательность слоев не обязательно отражает последовательность событий. Важным свойством некоторых гипогенных слоистых структур является их подвижность относительно гипергенных слоистых структур. Структуры различных специализаций могут принадлежать или к одному, или к обоим генетическим типам.

Гипергенные слоистые структуры устанавливаются или по петрографическим, или по биостратиграфическим признакам. Гипергенные слоистые структуры, выделенные по биостратиграфическим и петрографическим признакам, могут пересекаться, так как каждая из них отражает последовательность различных событий геологической истории.

Слоистые структуры, выделяемые по физическим (геофизическим) свойствам, должны быть отнесены к гипогенным. На небольших глубинах слоистые структуры, выделяемые по физическим свойствам, могут совпадать со слоистыми структурами, выделяемыми по петрографическим признакам. Но это касается не слоистой структуры, в целом, а лишь таких петрографических горизонтов, физические свойства которых относительно устойчивы в пределах этих глубин. С возрастанием глубины соответствие между обеими слоистыми структурами утрачивается.

## ДИСЛОКАЦИИ СЛОИСТОЙ СТРУКТУРЫ

Слоистая структура может под действием разных факторов испытывать перемещения и дислокации.

Под *дислокациями* подразумеваются различные нарушения слоистой структуры, обусловленной первоначальным в идеале горизонтальным слоистым распределением вещества в условиях гравитационного поля Земли. Созвучный термин «*деформация*» 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 более содержательным, поскольку отражает перемещение вещества относительно слоистой структуры, которая связана с основными закономерностями строения и развития Земли. Понятие же деформации является более узким.

Дислокации слоистой структуры гипергенной оболочки часто рассматриваются как главный предмет тектоники. Предмет тектоники, как это указывалось в главе I, значительно шире и глубже; тектоника исследует не только изменение структуры (дислокации, деформации), но главным образом и прежде всего само строение Земли, ее слоистую структуру, дислокации, а также пространственные закономерности распределения вещества, в ча-

стности горных пород, находящие свое выражение в учении о формациях. Однако, 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, так же как и сама слоистая структура, свойственны любому участку гипергенной оболочки, а их формирование происходило в течение всей обозримой геологической истории. Это доказывается как наблюдениями над слоистой структурой, которая повсеместно в пределах гипергенной 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, микроплойчатости (*пликативные дислокации*), разрывными нарушениями слоистой структуры, отдельных составляющих слоев и различных других тел (*дизъюнктивные дислокации*), а также инъекциями и другими видами перемещения вещества одного слоя в пространство других слоев или из одного участка в другие и 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.

Однако такое разделение следует рассматривать не как классификацию, а как некое абстрагирование с вычленением отдельных характеристик на аналитическом этапе исследований, чтобы перейти к синтезу, вернуться к реальному природному объекту как целому. Иными словами, в конкретных дислокациях обычно сочетаются все эти три стороны, иногда с явным преобладанием одной из них. Нам придется идти по пути как раздельного (по трем типам), так и целостного (синтетического) рассмотрения дислокаций.

Геоморфологические и тектонические явления порождают новые источники вещества, распределявшегося по поверхности Земли. Эти формы являются отклонением от идеальной модели земной сферы, что обусловлено причинами, нарушающими идеальное гидростатическое равновесие Земли. Этими причинами могут быть тектонические движения. Если установление и исследование форм (включая состав образующих их пород) являются простой задачей в смысле ее принципиальной доступности непосредственным наблюдениям и измерениям в пределах достигнутых человеком глубин, то исследование тектонических движений, за исключением тех, которые совершаются на наших глазах, за-

труднено тем, что оно неизбежно заключает в себе аналогии и гипотезы и не ведет к однозначным решениям.

*Дислокации слоистой структуры* относятся только к гипергенной оболочке и границам ее двух основных специализаций. Силы, порождающие дислокации могут быть внешними (экзодислокации) и внутренними (эндодислокации). Смена дислокаций по горизонтам и этажам гипергенной оболочки является одной из важных основ ретроспективной реконструкции динамической истории Земли. Размеры дислокационных (структурных) форм охватывают широкий диапазон порядков — от глобальных до микроскопических. Однако их универсальная иерархия пока не разработана, и мы порой вынуждены ограничиваться рангами и иерархиями, намечаемыми в пределах отдельных объектов или в рамках проводимых исследований.

Дислокации являются важным свидетельством постоянной подвижности Земли, непрерывного действия различных локальных, региональных и глобальных факторов этой подвижности. Существуют два класса источников таких движений — внешние (космические, ротационные и т. д.) воздействия на Землю и внутриземные процессы. Неравномерное распространение дислокаций в пространстве и времени свидетельствует об эволюции состояния недр Земли.

Дислокации могут быть выражены как смещением слоев, так и «перемешиванием» вещества гипергенной оболочки. «Перемешивание» начинается при таком относительном перемещении, когда слои (или вещество этих слоев) меняются местами вдоль вертикальной (радиальной по отношению к Земле) оси. Начальными формами перемешивания будут, таким образом, взбросы и опрокинутые складки, а более зрелыми — шарьяжи, тектонические чешуи, оползни, тектонические брекчии, меланжи, силлы, а также глиняные глетчеры, лавовые и грязевые потоки. Последние две формы уже находятся на грани дислокаций и слоеобразования, чем подчеркивается единство тектогенеза и седиментации в процессе формирования и преобразования структуры гипергенной оболочки.

Хотя любая дислокация может быть рассмотрена с квазистатических, ретроспективных, а в отдельных случаях и динамических позиций, при описании дислокаций мы не будем строго придерживаться этих разделений и последовательности, имея в виду, что рассмотренные выше методологические принципы могут усматриваться в инфраструктуре изложения вопроса, так сказать, в неявном виде. Действительно, введение в текст для каждого отдельного случая разъясненной уже схемы суждений весьма бы его удлинило и утяжелило. Поэтому в суждении мы применяем операцию свертывания, имея в виду прямой переход от наблюдаемых явлений к конечному выводу, когда он нам представляется очевидным. Конечно, при неуверенности в выводе следует прибегать к проверке, используя аппарат, разработанный в виде методологических систем. Приведем простейший пример с двумя

слоями. Исследование состоит из: 1) наблюдения над обнажением (разрезом скважин) и установления, что слой А лежит выше слоя Б, 2) наблюдения над процессом отложений в природе или эксперименте и установления, что материал, образующий слой Б, отложился ранее, чем материал, образующий вышележащий слой А, 3) сравнения наблюдений в обнажении с наблюдениями результатов современных природных или экспериментальных процессов (динамическая система), 4) предположительного вывода о том, что закономерности в последовательности формирования слоев во время образования объекта, наблюденного в обнажении или скважине, были такими же, как сейчас (распространенная аналогия или принцип актуализма). Отсюда делается вывод, что слой А моложе слоя Б. Эту сложную процедуру вывода заменяем операцией свертывания, представленной в данном случае принципом последовательности напластования, который гласит — «чем выше в разрезе лежит пласт, тем он моложе».

## ДИЗЪЮНКТИВНЫЕ ДИСЛОКАЦИИ

Дизъюнктивные дислокации по своим размерам охватывают столь же широкий диапазон порядков, как и слои, и распространены практически повсеместно. Трещиноватость в поверхностных частях гипергенной оболочки распространена во всех горных породах, кроме сыпучих несцементированных песков и пластичных соленосных толщ при отсутствии в них хрупких прослоев. Заложение разломов и движение по ним происходило, по крайней мере, от позднего архея до современной геологической эпохи, причем известны разломы, которые оставались и остаются активными в течение всего этого времени, правда, может быть, с перерывами (например, Южно-Алданский разлом).

Вдоль некоторых разломов и трещин поднимается или опускается разжиженный глинистый материал, пластичные глинистые или иного состава брекчии, водоносные пески, выдавливается пластичная каменная соль (грязевый вулканизм, нептунические дайки, соляные инъекции). Вдоль крупных разломов часто группируются интрузии и очаги вулканических извержений, что позволяет считать, что такие разломы достигают глубин плавления горных пород. Есть даже предположения о распространении разломов до глубин около 700 км.

Отчетливо прослеживается связь многих сбросовых и надвиговых систем со складками как по пространственному положению (затухание сбросов на периферии складок и соляных куполов, соответствие сбросов антиклинальным линиям или их перпендикулярное к ним положение, системы эпиантиклинальных и трансформных сбросов и разломов), так и по времени их развития. Однако в одних случаях складки могут не сопровождаться сбросами, а в других дизъюнктивные нарушения могут преобладать и сопровождаться лишь изгибами слоев. Так или иначе дизъюнк-

тивные или пликативные дислокации сосуществуют в единых формах и процессах. Относительная роль тех и других связана с реологическим состоянием вещества и характером напряжений. Разломы часто определяют расположение складок и целых складчатых зон.

Разломы можно рассматривать как дизъюнктивные границы, не имеющие толщины. Во-первых, 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 незначительна по сравнению с длиной и шириной и которые образовались вследствие различных процессов (минерализация, метаморфизм, метасоматические замещения, дробление, брекчиеобразование, милонитизация и т. д.). Изучение разломов как тел существенно для исследования глубоких недр земной коры и верхней мантии, а также для выработки представлений о процессах формирования некоторых нефтяных, газовых и рудных месторождений.

При наличии дизъюнктивной границы возникают *несмещенное* и *смещенное* залегания геологических тел. При смещенном залегании дизъюнктивная граница может быть структурной. К смещенному залеганию относятся сбросы, надвиги и сдвиги.

Один и тот же разлом может быть прослежен в качестве дизъюнктивной границы в пространствах различной специализации, если распределение соответствующих свойств определилось к моменту его возникновения.

## Трещиноватость

*Трещиноватость*, или трещинная (блоковая) структура, так же как и слоистая структура, обладает универсальным распространением и охватывает огромный диапазон порядков размеров от первого, соответствующего, например, системам широтных разломов восточной части Тихого океана, расстояния между которыми превышают 1000 км, до десятого порядка, если речь идет о системах трещин с расстояниями, измеряемыми миллиметрами. Изучение трещиноватости различных порядков важно при решении ряда теоретических и практических вопросов геологии (распределение напряжений в земной коре при тектонических деформациях, механизм образования различных тектонических форм, инженерно-геологические условия строительства, формирование и разрушение залежей полезных ископаемых). При изучении трещиноватости выработана специальная терминология (система трещин, удельная трещиноватость, густота трещин и т. д.) и соответствующие методики.

При статистических обобщениях замеров трещин следует иметь в виду их большое разнообразие в смысле геологических

условий возникновения, механических условий и времени появления. Поэтому статистическому обобщению должен быть предпослан анализ трещиноватости с выделением различных генетических групп трещин, для чего может служить предложенный М. В. Рацем *статистико-генетический метод*, заключающийся в использовании распределения логарифмов таких величин, как средние расстояния между трещинами, ширина трещин и т. д.

Различают *тектонические трещины*, т. е. трещины, образовавшиеся в результате тектонических напряжений (скалывание, растяжение, кручение и т. д.), от трещин выветривания и трещин, обязанных своим возникновением сокращению объема пород при застывании расплава, дегидратации или литификации. Тектонические трещины обладают обычно сглаженными поверхностями, выдержанной ориентировкой, связанной с простираниями других структурных элементов. Реже встречаются тектонические трещины отрыва с неровными краями.

Слой как геологическое тело может быть нарушен или ограничен пластовыми, нормальными и косыми трещинами.

Если происхождение косых трещин связано с динамическими условиями деформации слоев, то происхождение нормальных трещин может быть различным и часто является предметом дискуссий. Так, нормальные трещины могут быть связаны с сокращением масс при затвердевании, примером чему служит хорошо известная столбчатая отдельность в пластах базальтов.

Трещины, обязанные силам, возникающим внутри породы, называются *эндогенными* в отличие от *экзогенных* трещин, возникающих под влиянием внешних механических воздействий.

Происхождение и механические условия возникновения нормальных трещин в платформенных областях, не испытавших складчатости, были рассмотрены К. Г. Войновским-Кригером на основании наблюдений в бассейне р. Лемва (Полярный Урал), где горизонтально залегающие верхнемеловые песчаники рассечены вертикальными трещинами, группирующимися в две основные системы — широтную и меридиональную. Трещины иных направлений выражены неотчетливо. Исключаются: а) внутренние силы, за счет которых не может быть объяснена правильная ориентировка в региональном масштабе, б) общее расширение масс породы, несовместимое с наблюдающимся зиянием трещин, в) внешнее боковое сжатие, поскольку оно не может передаваться на большие расстояния и должно вызывать наклонные перемещения скалывания.

Правильность систем трещин, их взаимная перпендикулярность, а также прямолинейность трещин указывают на скалывание, происходившее в результате перекашивания данного участка земной коры, т. е. в результате вращательных усилий в горизонтальной плоскости. Перекашиванием земная кора охватывается на значительную глубину, и, таким образом, передача усилий происходит не по тонкому слою, а по блоку значительной толщины.

Так же как и для слоев, закономерное распределение трещиноватости устанавливается и для геологических тел, имеющих форму массива. Среди *прототектонических трещин,* т. е. первичных трещин, возникающих при становлении интрузивного тела вблизи апикальной поверхности, обычно различают *поперечные* (относительно направления течения и линейной ориентировки изверженной породы), *продольные и диагональные* крутые или вертикальные трещины, а также *пологие* трещины, параллельные апикальной поверхности массива. Наблюдения над трещиноватостью позволяют восстановить форму массива, так как размещение трещин с ней согласуется. Например, поперечные трещины образуют характерный веер, соответствующий форме апикальной поверхности массива.

### Дизъюнктивные дислокации со смещениями

Существует общая терминология для описания смещений; она указывается в справочниках.

Опуская описания сбросов, взбросов и сдвигов, в достаточной степени разработанные в курсах структурной геологии, остановимся лишь на шарьяжах, системах дизъюнктивных дислокаций и глубинных разломах.

В связи с успехами изучения покровной тектоники Альп, в 20-х годах XX в. возникло чрезмерное увлечение покровами (так называемый «*наппизм*» или «*ультранаппизм*» (парре — покров, скатерть — франц.), причем многослойные покровы часто рисовались даже для районов платформенного строения или плохо изученных. Большинство таких построений не оправдалось, и «наппизм» был скомпрометирован. Возникли сомнения в широком распространении шарьяжей и в существовании крупных шарьяжей вообще («антинаппизм»). Антинаппизм, однако, оказался заблуждением, тесно связанным с господствующими в геологии в 30-х и 40-х годах представлениями, полностью отрицающими роль горизонтальных движений.

За последние десятилетия начали проводиться детальные геологические съемки и глубокое структурное бурение в горных районах. Глубоким бурением было подтверждено наличие крупных шарьяжных перекрытий в Копетдаге, Динаридах, Южных Карпатах (Гетский покров), Восточных Карпатах (Мармарошский массив), Чешских и Польских Карпатах, на Урале, в Прибайкалье, Скалистых горах и в других районах. В частности, на Урале установлены надвиги с горизонтальным перемещением до 15—20 км; в Динаридах описаны шарьяжи с перемещениями не менее 50—60 км. Детальными съемками установлены шарьяжи в Гималаях, Норвежских каледонидах, Атласе и других складчатых областях.

Надвиги могут образовывать сложные чешуйчатые системы, причем в отдельных чешуях возникают самостоятельные складчатые изгибы. Примером сложной чешуйчато-складчатой струк-

туры может служить район Биткова в Восточных Карпатах. Здесь различаются *надвиговый* (Береговая складка), *поднадвиговый* (Молодьковская и Бабченская складки) и *глубинные этажи складчатости* (рис. 5).

Надвиги разнообразны. В Европе, например, различают *шотландский* и *альпийский* типы надвигов, а среди шарьяжей *покровы первого и второго рода,* развитые из секущих надвигов при участии гравитационного соскальзывания из орографически поднятых участков в опущенные. Б. и Р. Уиллисами выделены надвиги *аппалачского типа* и надвиги *Скалистых гор.* В Средней Азии А. И. Суворовым выделены надвиги *успенского типа (глубинные надвиги)*, по которым поднятия надвинуты в сторону прилегающей впадины, и надвиги *вахшского типа* пологие и менее глубокие (*надвиги покрова*), которые располагаются вдоль границ складчатых областей различного строения и сопровождаются большими горизонтальными перемещениями (десятки километров).

Разнообразие надвигов обусловлено различными механическими свойствами материала (например, шотландские надвиги в консолидированных, а альпийские — в пластичных толщах), размещением масс горных пород (надвигание массива на впадины), соотношениями тектонических форм и т. д.

Важные соображения о возможных условиях возникновения надвигов в геосинклинальных областях высказаны К. Г. Войновским-Кригером, предлагающим считаться с тем, что надвиги могут быть обусловлены существованием «сближенных фаций». В реальных условиях стыки значительных по мощности толщ,

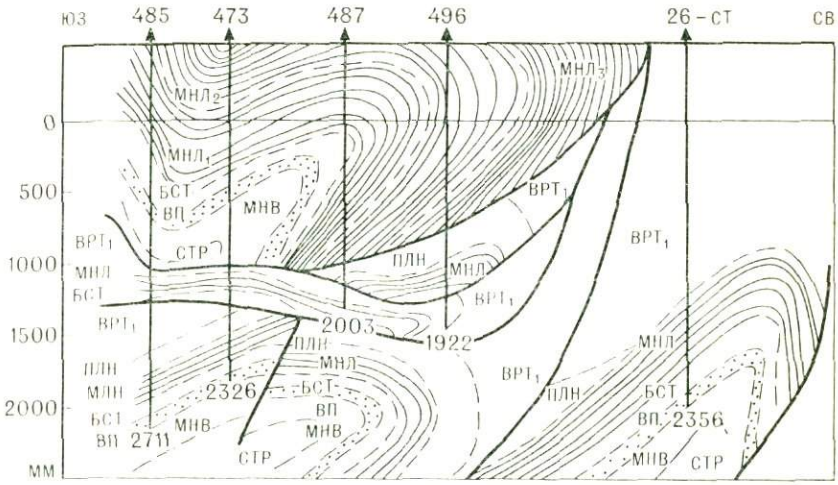



Рис. 5. Надвиги Бабченского района. По Р. В. Палинскому и И. М. Юрчуку (1965 г.)

Свиты: $ВРТ_1$ — воротыщенская, ПЛН — поляницкая, $МНЛ_1$, $МНЛ_2$ и $МНЛ_3$ — менелитовая, БСТ — быстрицкая, ВП — выгодско-пасечнянская, МНВ — манявская, СТР — стрыйская. Цифры — глубина скважин (в м)

различных в фациальном и механическом отношениях, могли определяться глубинными разломами, контролировавшими условия накопления формаций. Поскольку в таком случае механически различные призмы осадков соприкасаются друг с другом на значительном протяжении, создаются условия, при которых во время складчатости (сжатия) возникают срывы и горизонтальные перемещения. Так, К. Г. Войновский-Кригер объясняет, что глубинные разломы часто сопровождаются надвиговыми явлениями в верхнем структурном этаже.

Близкое к этому объяснение механизма надвигов было предложено мною для Восточных Карпат, где наиболее крупные надвиги разграничивают основные структурно-фациальные зоны и направлены в сторону опущенного или прогибающегося блока. Имея в виду, что при формировании глубоких прогибов может происходить растяжение слоев, а при подъеме — сжатие, сокращение их поверхности и складкообразование в смежных блоках, испытывающих движения разного знака, в таких случаях возникает движение масс в сторону опускающегося блока, которое сопровождается искривлением разделяющих блоки разломов и преобразованием их в надвиги.

### Оползневые дислокации

Различают наземные оползни и подводные оползни.

*Наземные оползни* — дислокации, связанные с оползнями масс пород под действием силы тяжести из орографически поднятых в орографически пониженные участки. Оползание иногда захватывает площади в несколько десятков квадратных километров. Обычно оползание происходит по кривым поверхностям, вверху более крутым, снизу выполаживающимся. У верхней границы оползня возникают трещины растяжения; в основании оползня развивается поверхность скольжения, сопутствуемая зоной раздробления и перетирания пород, участвующих в оползне, а также складками волочения. У подножия оползня происходит аккумуляция материала с образованием складок и миниатюрных надвигов. Перемещения по крупным оползням достигают нескольких километров, а мощности толщ, вовлекаемых в оползание, могут измеряться десятками и сотнями метров. Результаты древних оползневых дислокаций могут наблюдаться в виде мелких местных нарушений в толщах различного геологического возраста.

*Подводные оползни* представляют собой результат смещения по поверхности скольжения пород в пониженные участки дна водоемов. В результате появляются мелкие складки, а также скопления и прослои брекчий. Эти дислокации наблюдаются в пределах пласта или группы пластов и не распространяются выше и ниже по разрезу. Площади, занимаемые подводно-оползневыми дислокациями, достигают сотен и тысяч квадратных километров, а захваченные ими мощности исчисляются десятками (по мнению некоторых авторов, сотнями) метров.

Правильные диагностика и описание подводно-оползневых нарушений могут иметь огромное значение при решении разных вопросов тектоники и палеогеографии.

Так, В. А. Гроссгейм установил подводно-оползневый генезис Дибрарских утесов на Юго-Восточном Кавказе. Утесы эти откололись от скалистых кордильер и перемещались по наклонному дну на 20—30 км. Аналогичные образования — *погребенные клиппы* (*олистолиты*, по Ж. Обуэну) описаны в Динаридах И. И. Белостоцким.

Оползневые дислокации морфологически могут быть близки к шарьяжам. Необходимым элементом как шарьяжей, так и оползневых дислокаций является поверхность скольжения, часто сопровождающаяся брекчиями трения, складками волочения, штрихами, бороздами и т. д.

Оползневые перекрытия (шарьяжи) можно отнести к категории тектонических явлений, поскольку они обязаны своим происхождением сформированному или формирующемуся сводовому или блоковому поднятию и представляют собой результат перемещения горных пород под влиянием гравитационных сил, а также к области осадочных явлений, так как они наращивают гипергенную оболочку, являясь формой тектонического переноса вещества по ее поверхности. В тесной связи с этим явлением находятся *олистостромы* — хаотические нагромождения обломков, брекчий, чешуй и даже плит в общей более мелкозернистой массе. Олистростромы могут располагаться на продолжении разрушающихся по мере их движения оползневых надвигов, возникать в их подошве или же иметь совершенно независимое от надвигов, связанное с подводным размывом осадочное происхождение.

Оползневые дислокации участвуют в формировании гипергенной оболочки. Отрыв тела оползня можно уподобить тектонической денудации, его движение — переносу, его остановку — отложению. Тело оползня ложится на поверхность Земли (или дна) и наращивает оболочку. Находящиеся в породах тела оползня остатки фауны или другие признаки характеризуют не время отложения этого нового «слоя», а возраст отложений, за счет тектонической денудации которых образован слагающий его материал. С этими оговорками к телам оползней как к элементам слоистой структуры вполне применим закон последовательности напластования.

### Системы дизъюнктивных дислокаций

В качестве тектонических форм, образуемых дизъюнктивными дислокациями, могут быть названы грабены, горсты и сбросовые ступени.

*Грабен* — ограниченный дизъюнктивными нарушениями блок горных пород, смещенный относительно смежных блоков в сторону подошвы слоев (рис. 6).

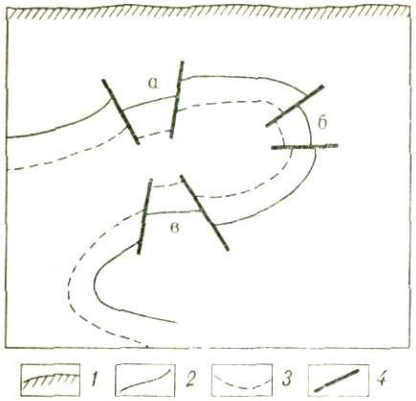



Рис. 6. Грабены при нормальном (а), вертикальном (б) и опрокинутом (в) залегании слоев

*1* — поверхность Земли; *2* — кровля слоя; *3* — подошва слоя; *4* — разлом

Среди крупных грабенов Г. Штилле выделял *глыбовые грабены*, у которых как центральные части, так и крылья сложены слоями одинаковой мощности, т. е. имели одинаковую предшествующую историю развития, и *прогибы-грабены*, возникшие на месте ранее существовавших прогибов в результате возникновения разломов в их краевых частях.

Крупные грабены (Байкальский, Восточно-Африканские, Мертвого моря, Рейнский) обычно трактуются как *рифтовые долины*, т. е. долины, ограниченные нормальными сбросами. В русской литературе рифтовые долины часто описывают под названием *рифтов*, что является следствием неточностей, допущенных при переводе книги Б. Виллиса «Проблема Мертвого моря» (1934 г.). Собственно рифт (rift) означает разрывное смещение, вызванное силой тяжести, так что правильнее говорить о перечисленных крупных грабенах не как о рифтах, а как о *рифтовых грабенах* в отличие от *рамповых грабенов*, ограниченных надвигами.

Как крупные, так и мелкие рифтовые грабены сопряжены с поднятиями и растяжениями сводов. При этом образуется весьма характерная форма рифтовых грабенов в плане: они в районах своих окончаний разделяются на две ветви, что связано с погружениями тех удлиненных поднятий, своды которых осложнены грабенами. Длина крупных рифтовых грабенов составляет 200—2500 км. Такую же форму с разветвлениями на концах имеют значительно меньшие по размерам (3—15 км) ограниченные нормальными сбросами грабены, осложняющие своды соляных куполов в Прикаспийской впадине.

Сигмоидальная форма Байкальского грабена, как показали экспериментальные исследования И. В. Лучицкого и П. М. Бондаренко, обусловлена сочетанием сводового растяжения и горизонтальных вращательных усилий и сдвигов, обусловивших его характерное искривление в плане.

Связь крупных и мелких (солянокупольных) рифтовых грабенов со сводовыми изгибами отнюдь не означает, что имеет место простое обрушение сводов. На соляных куполах грабены

возникают вследствие расчленения соляных массивов, образования и углубления центральной депрессии; грабен выступает, таким образом, как результат активного прогибания, обусловленного оттоком соли. В случае крупных рифтовых грабенов опускание происходит, по-видимому, за счет оттока глубинного вещества.

Крупнейшей системой грабенов на площади континентов является система Великих Африканских разломов, протяженность которой, согласно Ф. Дикси (1959 г.), достигает 70°, или около одной пятой окружности Земли. Эта система рифтовых долин заложилась в докембрии и длительно развивалась, отчетливо геоморфологически выражена и представлена структурными формами в кайнозойских и мезозойских толщах. Вместе с тем она соответствует простираниям докембрийской сланцеватости, положению крупных надвигов и различных интрузивных тел в докембрийских толщах. В некоторых участках, где имеется два или более докембрийских тектонических направления, более поздние разломы в основном совпадают с одним из них, а затем поворачивают и следуют другому направлению. Крылья рифтовых грабенов образуют своды шириной 500—650 км.

Меридиональные рифтовые формы на севере, сохраняя свое простирание, пересекают складки Тавра, принадлежащие альпийской складчатой системе, что, по-видимому, связано с омоложением здесь древних линий. Это означает, что Африкано-Аравийская система рифтовых грабенов является более древним и более длительным по развитию тектоническим образованием, чем, во всяком случае, некоторые складчатые системы Тетиса. Представляется, что рифтовые системы, подобные Африкано-Аравийской, являются столь же древними и длительно развивающимися линеаментами, что и описанные Н. С. Шатским сквозные дислокации, общие для Восточно-Европейской платформы и Кавказа и включающие Ергенинскую ступень и Дзирульский массив. Заметим, что молодая (неогеновая) Байкальская рифтовая долина, имеющая сравнительно небольшую протяженность (800 км), продолжается разломами Уринского авлакогена, Вилюйской синеклизы, Дербеке-Неглехинскими поперечными разломами Верхоянского хребта и системой разломов Полоусного антиклинория; таким образом, общая протяженность этой системы разломов превышает 4000 км. Байкальская рифтовая долина расположена вдоль древнейшего, заложившегося не позднее позднего архея, крупнейшего шва. Она осложняет свод Байкальского сводового поднятия и, таким образом, по ряду признаков сходна с Африкано-Аравийской системой.

Еще более грандиозной является система рифтовых долин, осложняющая в виде глубоких ущелий срединноокеанические хребты.

Существуют представления, что рифтовые грабены развиваются вдоль раннедокембрийских зеленокаменных поясов как на наиболее ослабленных зонах и, таким образом, имеют длитель-

ность развития, вполне соразмерную с длительностью геологической истории. Бытует также точка зрения, что рифтовые грабены послужили зародышами альпийских геосинклиналей. Во всех этих случаях речь идет, конечно, о глобальных или «глубинных» рифтовых грабенах.

Крупные грабены в фундаментах платформы, выполненные осадочными толщами платформенного чехла, называются *авлакогенами*. Этот термин предложен Н. С. Шатским для структур несколько иного рода — одиночных эпикратонных миогеосинклиналей типа Донбасса, Келецко-Сандомирского кряжа и складчатой системы Угарта в Сахаре. Однако отнесение Н. С. Шатским к числу авлакогенов также рифейского Пачелмского прогиба позволило позднейшим исследователям толковать этот термин широко и называть так крупные грабенообразные прогибы фундаментов платформ независимо от того, испытали ли выполняющие их слои складчатость или нет.

К системам дизъюнктивных дислокаций относятся *горсты, сбросовые ступени, тектонические чешуи, компенсационные сбросы, структуры конского хвоста* и др. Остановимся только на некоторых типах систем. Так, А. И. Суворовым выделены динамические системы разломов, так называемые *динамопары*. Динамопары представляют собой сочленяющиеся в плане под прямым или тупым углом пары разломов, ограничивающие блок земной коры, испытывающий горизонтальный поворот. В результате вдоль одного «луча» пары происходит сдвиг, а по другому «лучу» — надвигание. Динамопары описаны А. И. Суворовым для Центрального Казахстана и Средней Азии. Динамическое единство обеих зон определяется однозначно направленным перемещением масс к северо-западу и близкими значениями амплитуд горизонтальных сдвиговых и несдвиговых смещений.

Понятие динамопар А. И. Суворова весьма существенно в анализе дизъюнктивных дислокаций. Здесь речь идет о том, что движения по сопряженным разломам совершаются не сами по себе, а подчиняются движениям дизъюнктивных тел, которые они окаймляют.

Каждая система дизъюнктивов тесно связана блоком (например, в случае горста или грабена) или системой блоков (как в случае «конских хвостов» или перистых систем). Определяющими являются не движения по отдельным дизъюнктивам, а движения блоков, которыми определяются согласованные перемещения по ограничивающим их дизъюнктивам. Такие полностью или частично ограничивающие подвижный блок системы разломов могут рассматриваться как динамические системы.

Исследование динамических систем позволяет выяснить в более общей связи, чем это получается при изучении движений по отдельным разломам, особенности структурного развития многих нарушенных дизъюнктивными дислокациями районов.

## Разломы и зоны разломов как геологические тела

Выше разломы рассматривались в качестве дизъюнктивных границ. Другой аспект исследования разломов заключается в изучении связанных с ними специфических совокупностей геологических образований — брекчий трения, плутонических или нептунических даек, жил, рудных тел, интрузивных тел и т. д., обнаруживающих известное генетическое сходство, связанное с геологической историей данного разлома. Изучение этих образований и выяснение их генетических характеристик важно для выяснения глубины проникновения разлома в земную кору и мантию и его геологической истории.

Интенсивные линейные магнитные аномалии в океанах понимаются как отображение разломов, подводящих основные глубинные магмы. Совмещенные магнитные и гравитационные аномалии на платформах истолковываются как участки слепо оканчивающихся разломов, полости которых выполнены основной магмой.

Разломы также выступают как геологические тела, если их рассматривать как зоны связанного с ними дислокационного метаморфизма. А. Е. Михайлов выделяет: *зоны трещиноватости, зоны дробления, зоны разрывов* и *зоны смятия.*

Разломы можно рассматривать и как зоны геохимических изменений рудных концентраций или размещения магматических тел. Описание разлома — тела всегда зависит от задач исследования и поэтому не может быть исчерпывающим. То же можно сказать в отношении классификации разломов — тел. Их можно классифицировать по типам магматических проявлений, характеру минерализации, степени метаморфизма, связанного с разломами, и т. д.

## Глубинные разломы

Крупные дизъюнктивные нарушения названы А. В. Пейве *глубинными разломами.* А. П. Карпинский писал об опоясывающем всю Землю, местами разорванном, кольце излома, ограничивающем Тихоокеанскую впадину и сопровождающемся складчатыми горами и рядами вулканов. В работах У. Хоббса подчеркивался первичный характер *линеаментов*—длительно существующих разломов, которые предопределяют направление складок и очертания материков и океанов. Однако до 50-х годов в тектоническом районировании, решении крупных теоретических вопросов развития Земли, а также при определении основных закономерностей при поисках полезных ископаемых главное значение придавалось не разломам, а складчатости.

Вместе с тем новые данные, в том числе геофизические, связанные с изучением глубинных зон земной коры, и крупные региональные обобщения, такие как работы Н. С. Шатского по Восточно-Европейской платформе, свидетельствуют, что многие важнейшие черты строения гипергенной оболочки связаны с разло-

мами. Особенно важным в этом отношении оказалось установление Н. С. Шатским прямолинейных угловатых очертаний древних платформ, как бы предопределивших расположение окаймлявших их складчатых поясов.

По А. В. Пейве, глубинные разломы характеризуются длительностью развития и большой глубиной заложения. Они определяют появление магматических пород и рудных месторождений, ими определяются также границы между резко различными структурно-формационными зонами. Длительность жизни многих глубинных разломов от архея до ныне (Терскей-Каратауская зона в Тянь-Шане, Джалаир-Найманская зона в Центральном Казахстане, Южно-Алданский разлом).

Н. С. Шатский выдвинул и обосновал предположение о том, что глубинные разломы проникают в мантию.

Крупные, узкие и длинные антиклинали, возникающие вдоль швов, были описаны Н. П. Херасковым как *шовные антиклинали.*

Следует различать понятия *«глубинный разлом»* и *«подземный разлом» (скрытый разлом, слепой разлом).*

Разломы могут отличаться по своей кинематической характеристике, т. е. сопровождаться перемещениями сбросового, взбросового, надвигового и сдвигового типов или их комбинациями.

А. В. Пейве ввел понятие о *тангенциальных глубинных разломах,* ограничивающих крупные зоны земной коры снизу и представляющих собой очаговые зоны магматизма. Дальнейшее развитие этой идеи отражено в книге «Тектоническая расслоенность литосферы» [1980].

Ю. Я. Вацилов выделяет «надгранитные», «надбазальтовые», «коровые» и «внутримантийные» разломы, обосновывая существование этих типов разломов геофизическими данными (рис. 7). Приуроченность нижних кромок разломов к сейсмическим границам Ю. Я. Вацилов объясняет активизацией вещества земных недр именно на этих уровнях. Однако совпадение глубин заложения разломов с глубинами сейсмических разделов может быть объяснено также за счет регионального метаморфизма, «залечивающего» на этих глубинах разломы, первоначально проникающие глубже.

В. В. Белоусовым [«Тектоносфера...,» 1978] выделяется пять типов глубинных разломов: 1) *глубинные взрезы* — вертикальные разломы с вертикальным же перемещением, сопровождающиеся зонами смятия, интрузивными, эффузивными, в частности ультраосновными породами; 2) *глубинные сдвиги* (Сан-Андреас протяженностью 800 км); 3) *глубинные надвиги* (единственный пример — «зона Беньофа») *; 4) *глубинные сбросы* — сбросы, огра-

* Поскольку сейсмофокальные зоны значительно раньше Х. Беньофа описаны К. Вадати, Б. Гутенбергом, А. Н. Заварицким, Н. С. Шатским, кроме того, сам надвиг сомнителен — здесь много очагов напряжений и фокусов землетрясений, но надвиг как таковой не доказан и, возможно, что трактовка сейсмофокальной зоны как надвига влечет за собой неосновательные геологические выводы. — *Прим. автора.*

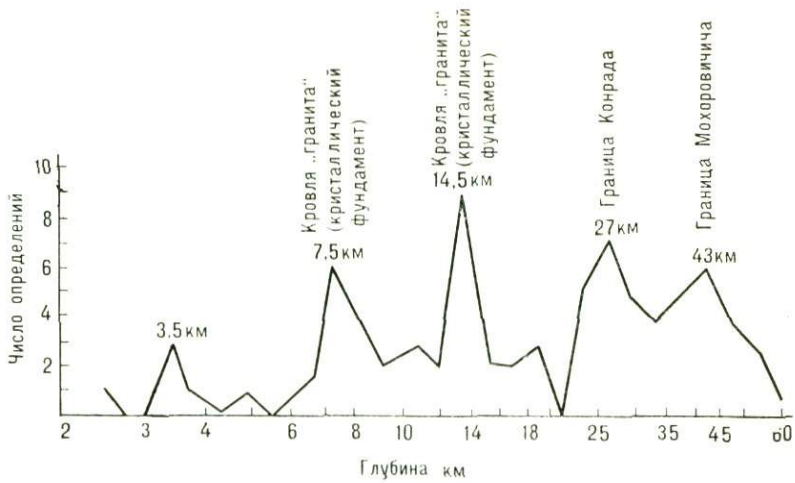



Рис. 7. Распределение глубин нижних кромок возмущающих поле силы тяжести масс для Предкавказья и Северо-Западного Прикаспия. По Ю. Я. Ващилову

ничивающие рифтовые грабены и более сложные рифтовые системы; растяжение поверхности Земли достигает 2—3 км, реже более; 5) *глубинные раздвиги* (Великая Дайка Зимбабве шириной 5—10 км, длиной 500 км, с горизонтальной расслоенностью кислых и основных пород; дайка Бревен в Швеции шириной 1 км).

Отметим, что никаких веских доказательств проникновения даек до уровня подошвы земной коры не существует, а горизонтальная расслоенность в видимых частях Великой дайки говорит в пользу вертикальной ограниченности резервуара. Такие дайки могут быть коленчатыми и питаться сравнительно неглубокими магматическими очагами. Конечно, это не исключает возможность проникновения их до поверхности Мохоровичича, но доказательства такой возможности должны быть достаточно ответственны, так как они ведут к признанию раздвигания земных оболочек на столь значительные глубины, которые достаточны для непосредственного «гидравлического» соединения поверхности с сокровенными глубинами «первичной» Земли, располагающейся под гипергенной оболочкой. Доказательство этого вывода имело бы огромное значение для исследования процессов геодинамики и глубинного вещества Земли. Пока же таких доказательств нет. Идея глубинных раздвигов, органически связанная с идеей спрединга, может рассматриваться лишь как гипотеза.

Размещение магматических тел во многих областях определяется глубинными разломами. На примере Северного Тянь-Шаня хорошо видна приуроченность герцинских интрузивных тел, размеры которых достигают 100—200 км$^2$, к глубинным разломам

северо-восточного и северо-западного простирания. Подавляющее большинство свинцовых, медных и других месторождений Северного Тянь-Шаня пространственно связано с *герцинскими интрузивами* и, следовательно, с разломами (рис. 8).

Во многих случаях связь размещения магматических тел с положением глубинных разломов устанавливается вполне надежно. Однако часто (например, на геоантиклинальных пространствах) такой связи нет, и размещение интрузивных массивов является площадным. Поэтому не всегда можно на основе зонального или полосового расположения массивов (особенно крупных) трассировать глубинные разломы.

Е. К. Устиев различал: *кататропные* глубинные разломы, сопровождающиеся породами лишь гидротермального или метасоматического происхождения; *диаторические,* или *сквозные,* достигающие глубины возможного магмообразования; *эпитропные,* глубинные, не достигшие поверхности Земли, сопровождающиеся гипабиссальными или абиссальными плутоническими сериями.

Попытки установления связи глубин проникновения разломов, сопровождающихся магмами определенного состава, с геофизическими слоями, имеющими соответствующие названия (например, «гранитный» и т. д.), несостоятельны ввиду условности таких названий и гипотетического характера суждений о составе и состоянии вещества в пределах геофизических слоев.

Метаморфизм в зонах глубинных разломов обусловливается динамическим взаимодействием разделенных разломами блоков

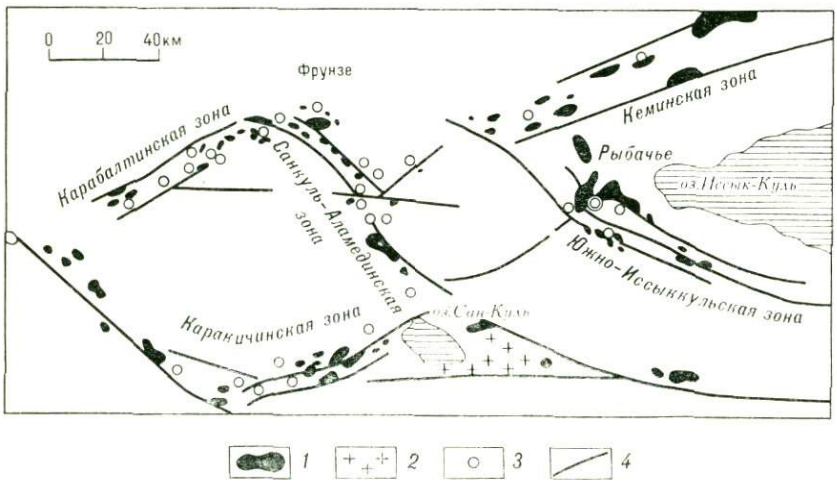



*Рис. 8. Связь герцинских интрузивных тел и рудных месторождений с глубинными разломами на Северном Тянь-Шане. По К. Д. Полазкову*

*1* — интрузивные тела; *2* — Санкульский гранодиоритовый массив; *3* — месторождения и рудопроявления полиметаллов; *4* — главнейшие разломы

(динамометаморфизм), повышенным тепловым потоком (термальный метаморфизм) и высокой проницаемостью, с которой связаны метасоматические процессы и минерализация.

Изучение фаций метаморфизма, в частности распространения метаморфических пород, принадлежащих к фациям высокого давления, позволяет среди глубинных разломов выделять такие, формирование которых было связано с наибольшими напряжениями сжатия в земной коре. Так, породы лавсонит-глаукофановой фации, глаукофановые и жадеитовые породы фации дистеновых гнейсов, что, в общем, согласно схеме Н. Л. Добрецова и др., отвечает интервалу давлений $10^9$—$2{,}8 \cdot 10^9$ Па, приурочены исключительно к зонам глубинных разломов. Встречаются они вдоль разломов Тихоокеанского пояса (Корякское нагорье, Япония, возможно, Южный Сахалин), вдоль главного Уральского разлома, на Западном Саяне. Породы фации дистеновых гнейсов и сланцев характерны для краевых швов на стыке складчатых поясов с платформами или срединными массивами; эти породы образуют вдоль южного обрамления Сибирской платформы цепь длиной более 2000 км, а также прослеживаются вдоль обрамления Колымского, Омолонского и Буреинско-Ханкайского массивов. Эти породы встречаются также вдоль узких позднеархейских и протерозойских грабенов в фундаменте платформ и внутри складчатых областей (Иртышская зона смятия, Севано-Акеринский разлом, Закавказье, разломы Тихоокеанского пояса).

Н. Л. Добрецов и другие исследователи выделяют два типа зон высоких давлений, рассматриваемых ими как зоны глубинных разломов. К первому типу относятся зоны с жадеит-лавсонит-глаукофановыми породами, телами эклогитов, а также подчиненными дистеновыми породами среди зеленосланцевых образований, насыщенные гипербазитами и почти лишенные гранитоидов. Эти зоны характеризуются небольшой шириной, зональным расположением метаморфизма и быстрыми переходами к неметаморфизованным породам в сторону от разлома. К зонам этого типа относятся глубинные разломы внутри геосинклинальных областей. Ко второму типу относятся зоны с дистеновыми сланцами, иногда эклогитоподобными породами, ассоциирующимися с мигматитами или телами гранитоидов. Зоны этого типа обладают большой шириной (50—100 км) и располагаются по границам платформ. Эти данные показывают, что глубинные разломы, ограничивающие платформы и срединные массивы, а также крупнейшие разломы внутри платформ и складчатых областей не только определяют на протяжении длительного времени особенности геологического развития примыкающих к ним территорий, но и являются в динамическом отношении наиболее напряженными зонами гипергенной оболочки.

Термальный метаморфизм зон глубинных разломов специфичен. Он проявляется в виде узких зон измененных боковых пород, превращенных в сланцы различных фаций метаморфизма, иногда в гнейсификации и гранитизации.

Помимо продольных систем глубинных разломов широко распространены также поперечные глубинные разломы. Их образование обычно объясняется как результат блоковых перемещений в глубоко погруженном жестком фундаменте. Примером служат *сквозные глубинные разломы,* выделенные А. Я. Ярошем для Урала и прилегающих частей Восточно-Европейской платформы, имеющие субширотное простирание. Наличие соответствующих таким разломам цепочек (длиной 10—15 км) центров вулканической деятельности в палеозое свидетельствует о последующей активности разломов в течение всего времени формирования Уральской геосинклинальной системы.

Существуют зоны поперечных дислокаций, делящие углы, образуемые изгибами (изломами) складчатых дуг или границ платформ. Обычно указывается, что такие зоны поперечных дислокаций в динамическом отношении связаны с формированием дуги (излома) и отражают распределение напряжений, которые создаются на биссектрисе внутреннего или внешнего угла дуги. Большое внимание изучению *краевых поперечных систем,* располагающихся внутри «входящих углов» (внешних углов дуг) древних платформ, уделял Н. С. Шатский, отмечавший, что эти формы образуют ряд от простых небольшого размера до сложных, занимающих огромные пространства. Поверхностные проявления этих форм могут быть весьма различными, хотя все они, несомненно, связаны с разломами. Н. С. Шатский различал: а) *краевые поперечные флексуры,* б) *краевые поперечные синеклизы* (две краевые поперечные флексуры с опущенными участками между ними), в) *краевые поперечные грабены* (например, Осло, Рейнский) и г) *краевые поперечные системы* (например, Вичита).

Поперечные дислокации, осложняющие внутренние углы дуг, описывались и систематизировались Ли Сы-гуаном (1952, 1958 г.). Сочетание дуги с поперечными дислокациями внутреннего угла именуется им структурой «типа Е» или группой складок в форме «лука и стрелы». Поперечные дислокации (*«позвоночник»*) часто выражены системами разломов (например, Нанкинская дислокация).

### Планетарная трещиноватость и планетарная система разломов

В пределах крупнейших устойчивых участков земной поверхности — платформ *повсеместно* распространены системы вертикальных трещин, имеющих сглаженные поверхности и удивительно выдержанную ориентировку на огромных площадях. Н. С. Шатский (1945 г.) считал, что платформенная трещиноватость подчинена *планетарным направлениям.* Например, на Восточно-Европейской платформе явно преобладают две системы: 1) диагональная, образующая ряды северо-западного и северо-восточного направлений, и 2) ортогональная, образующая широтные и долготные ряды. Эти две системы прослеживаются на ог-

ромных пространствах платформы от Балтийского щита до Урала. Обычно преобладает диагональная система. Очень хорошо эти системы выражены на Скандинавском полуострове и на Алданском щите (рис. 9).

Такие же взаимно пересекающиеся системы вертикальных трещин повсеместно распространены в спокойно дислоцированных участках геосинклинальных областей, и, как можно с уверенностью полагать, они возникают во всех осадочных толщах, но в некоторых из них были затушеваны при последующем складкообразовании. Таким образом, по повсеместности распространения эту трещиноватость следует считать *планетарной*.

Г. Штилле выделялись «В»-*тектоника,* представленная широтными системами дислокаций, и «Д»-*тектоника* (диагональная тектоника), представленная системами северо-западного ($Д_1$) и северо-восточного ($Д_2$) направлений с отклонениями (например, рейнское направление $Д_2^1$-*тектоника* характеризуется северо-северо-восточными простираниями). По представлениям Г. Штилле, первичный материк Мегагея был рассечен линеаментами, по которым заложились геосинклинали альгонкской генерации и которые служили как бы каркасом для унаследованного развития тектонического плана в неогее вплоть до крупных прогибов типа синеклиз. Примером служат линеаменты Европы, предопределившие контуры цехштейнового бассейна, Рейнского грабена, Пиренеев, Динарид, ограничений Восточно-Европейской платформы и т. д. В расположении глубинных разломов Средней Азии также отчетливо выступают планетарные В и $Д_1$ направления. Ограничения Тихого океана, по Г. Штилле, подчинены Д и В направлениям и являются еще более древними, чем внутриконтинентальные геосинклинали.

Н. С. Шатский выделял также *регматические сети* крупных разломов, представляющих собой «рельсы», по которым осуществляются наиболее крупные движения, изменяющие лик Земли.

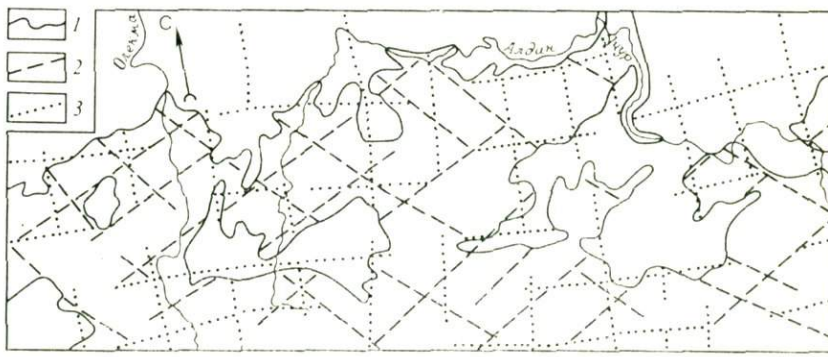



Рис. 9. Схема расположения основных разломов Алданского щита. По Р. Ф. Черкасову (1986 г.)

*1* — главные контуры платформенного чехла; *2—3* — оси зон глубинных разломов, имеющих ширину 30—50 км (*2* — диагональных разломов, обычно трассирующихся гигантскими роями даек протерозойских диабазов, *3* — ортогональных разломов, контролирующих размещение разновозрастных магматических и минералогических районов)

А. В. Пейве выделял алтайские (СЗ 300—320°) и саянские (СВ 30—50°) простирания, буквально пронизывающие всю структуру континента Евразии.

С. С. Шульц связывал ориентированные системы трещин с ротационным режимом Земли. Обобщения Н. С. Шатского, Г. Штилле и С. С. Шульца о ведущей роли планетарной трещиноватости в строении Земли заслуживают серьезного внимания как тектоническая гипотеза, которую необходимо рассматривать в суперпозиции с другими гипотезами.

Д. Муди и М. Хилл выделили восемь планетарных направлений сдвигов с интервалами в среднем 22,5°, так что любой сдвиг можно при желании приписать одному из этих направлений.

Изучение планетарных систем дислокаций осуществляется пока на «любительском» уровне. Между тем такое изучение необходимо для заключения о распределении напряжений в земной коре. Подмеченные Н. С. Шатским пространственные закономерности размещения планетарных трещин и генетическая трактовка, которую им дал К. Г. Войновский-Кригер, дают для этого весьма важные отправные точки. Оно также необходимо для понимания тектонической эволюции Земли и ее истории как планеты. Здесь можно сослаться на предположения Г. Штилле, что вся поздняя «Д»-тектоника Америки заложена в древнейшие времена и что основные черты тектоники, контролировавшие образование древнейших разрывных форм, по существу сохранили свою ориентировку с древнейших времен до поздних этапов геологической истории, более того — до настоящего времени. Кроме того, если связать «В»-и «Д»-тектонику с вращением Земли при современном положении полюсов, то в существующем издавна постоянстве этой ориентировки заключается убедительнейший довод против представлений о значительных перемещениях полюсов в течение геологического прошлого. Здесь попутно можно указать дополнительные палеонтологические и палеогеографические данные против значительных перемещений полюсов. Сюда относится основанное на изучении распространения позднепалеозойских брахиопод и фузулинид утверждение Ф. Стели о невозможности изменения положения полюсов относительно больших массивов суши Северного полушария, а также замечания В. И. Устрицкого о том, что район, прилегающий к Японии, где по палеомагнитным данным располагался магнитный полюс в позднем палеозое, характеризуется рифовыми массивами, фузулинидами и другой тропической фауной, что совершенно исключает возможность нахождения здесь позднепалеозойского астрономического полюса. Палеонтологические же данные В. И. Устрицкого показывают, что в пермском периоде положение Северного полюса не могло существенно отличаться от современного.

Резкое несовпадение палеонтологических и палеомагнитных данных о местонахождении палеозойского астрономического полюса, возможно, связано с тем, что направление термоостаточ-

ного намагничивания определяется положением поверхности остывания (слоя Кюри) относительно намагничивающего поля (угол $\alpha$) и магнитной восприимчивостью породы при температуре Кюри и только в частных случаях (при $\alpha = 0°$ $V = 90°$) совпадает с направлением намагничивающего поля. Таким образом, по замерам направлений термоостаточной намагниченности нельзя непосредственно судить о направлении намагничивающего поля. Это было показано путем исследования остаточного намагничивания по ориентированным образцам пород волынского габбро-анортозитового массива Г. К. Кужеловым и Г. К. Крутиковским.

Из приведенных соображений о платформенной трещиноватости можно сделать три предположения. Во-первых, поскольку преобладающими унаследованными являются диагональные и ортогональные системы, правильно и постоянно (это вытекает из их унаследованности) ориентированные относительно оси вращения Земли, то ось вращения Земли и положение материков относительно нее оставались постоянными, по крайней мере, на протяжении той части геологической истории, когда формировались систематические платформенные трещины; во-вторых, платформенная трещиноватость в основном обязана ротационным силам, и, в-третьих, платформенная трещиноватость не может служить доводом ни в пользу фиксизма, ни в пользу мобилизма; материки могли занимать фиксированные места на поверхности планеты, но могли и перемещаться по ней, не меняя существенно своей ориентировки относительно полюсов.

Думается, что специализированное детальное изучение трещиноватости плит представляет собой важную задачу для решения вопросов глобальной тектоники, в частности для оценки концепций плитной тектоники. Такие исследования могут заполнить существенные пробелы в арсенале данных по плитной тектонике, которая пока широко оперирует материалами по океанам, но недостаточно использует явления, наблюдаемые на континентах.

---

Любое дизъюнктивное нарушение сопровождается смещением разделяемых им участков слоистой структуры или отдельного слоя, или, по крайней мере, разделяет эти участки. Отмечается также универсальное распространение разломов и их многопорядковость. Слоистая структура выделяется по узкоспециализированным признакам, а блоковая структура — по очень широкому их диапазону. 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.). Смежные элементы 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, примером чему могут служить глубинные разломы, ограничивающие Сибирскую платформу. Как слоистые структуры и их элементы, так и блоковые структуры являются не только многопорядковыми, но и соразмерными по продолжительности формирования и тектонической активности.

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

## ПЛИКАТИВНЫЕ ДИСЛОКАЦИИ

Слои гипергенной оболочки повсеместно образуют резко или слабо выраженные изгибы (складки) различных размеров и формы, охватывающие столь же широкий диапазон порядков, как слои и дизъюнктивные нарушения, и распространены в гипергенной оболочке практически повсеместно. Даже чехлы платформ могут быть полностью подразделены на крупные пологие изгибы — складки, поднятия и впадины, соответствующие антеклизам и синеклизам.

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

Экспериментальные и полевые исследования показывают, что изгибание слоев часто сопровождается перераспределением материала. Это одно из главных свойств складок в интенсивно складчатых районах; в районах пологой складчатости, например на платформах, 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, тем круче изгибы, чем разнороднее комплекс участвующих в складкообразовании слоев, тем этот процесс сложнее.

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 мощности со складками указывает на то, что данные складки формировались одновременно с осадконакоплением. Изменения мощностей и литологического состава слоев, связанные со складками, позволяют расшифровать особенности развития складок в различные эпохи.

В различных участках гипергенной оболочки, а также в различные периоды геологической истории складчатость проявлялась неравномерно. Существуют площади с интенсивной и площади с очень спокойной складчатостью тех же по возрасту отложений. Кроме того, в одной и той же области разновозрастные толщи могут резко отличаться интенсивностью складчатости. Для того чтобы исследовать особенности и закономерности распределения складок в пространстве и во времени, необходимо выяснять их связи с крупными вмещающими структурными формами и с особенностями их развития, а также со строением нижних структурных ярусов.

Если волнообразные изгибы, представляющие собой чередующиеся выпуклости и вогнутости, осложняют вертикально залегающую серию слоев, то характеристика одних изгибов как антиклиналей, а других как синклиналей будет носить условный характер. При нормальном и опрокинутом залегании слоев *антиклиналью* называется изгиб слоев, обращенный выпуклостью к их кровле, а *синклиналью* — изгиб, обращенный выпуклостью к их подошве.

Антиклиналями и синклиналями принято называть формы не крупнее IV порядка по площади. Более крупные формы приобретают особые признаки, и им обычно присваиваются специальные наименования (антиклинории, синклинории, антеклизы и синеклизы и т. д.).

Контуры и объемы антиклинальных и синклинальных складок определяются как условные границы и тела второго класса.

### Складки, связанные с разломами

Дизъюнктивные и пликативные дислокации представляют собой две формы единого процесса нарушения первичной слоистой структуры Земли. Обычно эти формы дислокаций встречаются совместно и почти всегда сопутствуют друг другу. Во-первых, они могут проявляться одновременно и совместно, когда изгибание слоев при образовании складки сопровождается расчленением их на блоки и взаимным смещением этих блоков; во-вторых, они могут проявляться одновременно, но не совместно, когда скалывание консолидированных толщ или жестких прослоев сопровождается изгибанием пластичных прослоев и толщ (например, складки чехла, отражающие разломы фундамента);

в-третьих, они могут проявляться неодновременно, причем в различной последовательности.

Обычно надвиги, связанные с антиклинальной складкой, развиваются на ее крутом крыле, где слои испытывали наибольшие напряжения (например, Старогрозненская антиклиналь, а также некоторые другие складки Восточного Предкавказья). Нормальные сбросы, рассекающие антиклинали, обычно обладают наибольшими амплитудами и наибольшей густотой в сводах и затухают к периферии поднятий. Амплитуда таких связанных со складками сбросов в нижних горизонтах большая, в верхних — меньшая. Эта зависимость, установленная для куполов Эмбы и Туркмении, показывает, что движение по сбросам происходило одновременно со складкообразованием.

Морфология складок во многом определяется наличием рассекающих их сбросов и характером осложняющей их сбросовой сети. Можно указать ряд выделяемых по этому признаку разновидностей складок.

*Складки с продольными нормальными сбросами.* Сочетание цепи антиклинальных складок с крупным региональным сбросом позволяет предполагать их генетическое единство. При большей относительной роли пликативной дислокации будут развиваться складки со сбросами, затухающими у их периферии и не распространяющимися за их пределы; наоборот, при относительно меньшей «пластичности» складки небольших амплитуд будут только лишь осложнять крылья отчетливо выраженного сброса.

*К складкам, осложненным системами поперечных сбросов и сдвигов,* относятся, во-первых, складки с нормальными сбросами, обычно ступенчатыми, концентрирующимися в участках наиболее крупного погружения или воздымания шарниров складки и обособляющими ее поднятые и опущенные участки. Часто поперечные сбросы, обособляющие отдельные сегменты складки, не образуют ярко выраженных ступенчатых систем. Хорошим примером четко выраженной ступенчатой системы служат поперечные сбросы Сураханской складки. Во-вторых, к ним относятся складки с крутыми, почти вертикальными сбросами, секущими складку на ряд сегментов, не только поднятых и опущенных относительно друг друга, но и сдвинутых в боковом направлении. Такие сбросы называются *эпиантиклинальными.*

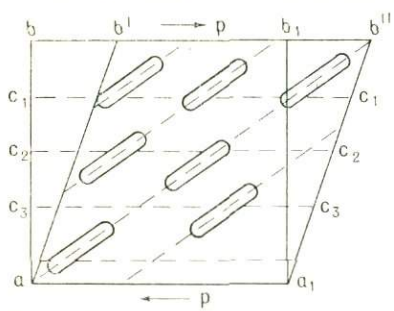



Рис. 10. Схема складок, нарушенных диагональными сбросами

*Складки, нарушенные диагональными сбросами и сдвигами,* развиваются при горизонтальном перекашивании, что может быть пояснено схемой (рис. 10), где сдвигающие горизонтальные усилия P — P перекашивают участок abb′a′, и он приобретает форму ab′b″$a_1$.

Наибольшие касательные (скалывающие) напряжения возникают в направлении, параллельном $aa_1$. Вдоль этих направлений возникают сбросовые нарушения там, где происходит наибольшая деформация осадочной толщи, т. е. в пределах антиклиналей. При таком механизме сбросы получаются вертикальные. По диагональным сбросам сегменты антиклиналей обычно сдвигаются в горизонтальном направлении.

Горизонтальное перекашивание участков земной коры, с которым мы связываем образование рассматриваемой разновидности складок, проявляется также в образовании платформенной трещиноватости и, по-видимому, широко распространено.

*Складки, осложненные продольными надвигами* или их системами; в отдельных случаях надвиги могут быть наклонены навстречу друг другу, образуя в своде складки клин.

К группе *надразломных (шовных, надразрывных)* складок принадлежат складки, образующиеся над разломами в связи с проходящими по ним движениями (рубцовые, клиньевые и взбросовые антиклинали и шовные синклинали), а также *приразломные и блоковые складки: горст-антиклинали* и *грабен-синклинали, коробчатые брахиформные складки, синклинали проседания.*

## Особые виды складок

Если считать, что любая складчатость, которая заключается в изгибании слоев под влиянием внешних условий, является *пассивной*, то *активной* складчатостью следует признать ту, которая порождается высвобождающейся внутренней энергией вещества, слагающего слои, участвующие в складкообразовании. Понятия о пассивной и активной складчатости соответствуют очень давним представлениям А. Гейма.

Для подавляющего большинства складок с большой долей вероятности принимается пассивная природа, и лишь для очень немногих складок можно говорить об их активном происхождении. Достоверными представителями активной складчатости являются изгибы слоев в гипсоносных толщах, обязанные увеличению объема до 67 % при гидратации ангидритов и превращении их в гипс (*гипсовая тектоника*). Другой возможной формой активной складчатости являются изгибы слоев, связанные с разбуханием глин; в таком случае необходимо, чтобы разбухающая масса была бы способна так воздействовать на окружающую среду, чтобы обеспечить себе дополнительное пространство. Иными словами, разбухающая масса должна оказывать давление, способное приподнимать и деформировать вышележащие толщи. Способность разбухающих глин развивать деформирующее давление пока не доказана. Складки разбухания М. В. Гзовский называл *дилатационными*. Возможность образования таких складок была подтверждена экспериментально (разбухание бентонитовых глин в два раза).

*Складчатость сланцеватости* развивается не на основе первичных слоев, а на основе вторичной сланцеватости (квазислоистости). На Южном и Среднем Урале К. П. Плюснин описал *«кливажантиклинали»*, по своим контурам не совпадающие со *«стратоантиклиналями»*, образованными слоистыми толщами. Кливажантиклинали не разделяются соответствующими им синклинальными формами; в зонах же их стыка наблюдается крутопадающая веерообразная сланцеватость. Устанавливается несогласное наложение этой позднепалеозойской системы сланцеватости на более древнюю (кембрийскую) систему. При этом поверхность кембрийского кливажа и все элементы связанных с ним складок были смяты в новые изоклинальные складки совершенно другого направления («перемятые складки», «replisse», «fold refolded»). Интересно заключение К. П. Плюснина, что «кливажантиклинали» формировались во время главных фаз дислокаций и метаморфизма. К их ядрам приурочены массивы гранитоидов, согласно обтекаемые поверхностями рассланцевания.

*Гнейсовые купола* были детально описаны Е. В. Павловским на примере Пиренеев, где отдельные участки складчатого палеозоя и докембрия сложены гнейсами. Гнейсовые массивы окаймлены концентрическими зонами кристаллических сланцев, распадающимися по степени прогрессивного метаморфизма на ряд концентрических полос вплоть до зоны хлоритовых сланцев во внешнем концентре. От нее к центрам массивов следуют: зона биотита, зона андалузита, силлиманита и мусковита, ядро двуслюдистых и других иногда гиперстеновых гнейсов. Верхний фронт гнейсификации в разных массивах лежит на разных стратиграфических уровнях (докембрий — ордовик); в пределах одного и того же массива стратиграфический уровень гнейсификации в центре выше, а на периферии — ниже. Интересной особенностью является залегание гнейсов некоторых массивов не менее метаморфизованных породах, для объяснения чего выдвигается идея селективного метаморфизма отдельных компонентов разреза мощной геосинклинальной серии, обладавших первичным составом, особо благоприятным для метаморфизма.

*«Термальные антиклинали»*, обрисовываемые изоградами, не совпадающими со стратиграфическими границами, описаны В. Н. Кеннеди в Шотландии. Образование термальной антиклинали определяется не поверхностной геологической структурой, а подъемом магмы, создающей геотермическую аномалию.

*Шлировые купола и шлировые своды* образуются первичными слоистыми структурами течения в застывающих интрузивных массивах.

Формирование складок, связанных с мигматизацией, рассмотрено М. Д. Крыловой (1960 г.) на примере архейских отложений Алданского щита. Селективное плавление в метаморфических толщах создает физическую неоднородность среды, что благоприятствует образованию складчатости. В частности, насыщение пород расплавом увеличивает их пластичность. Различаются пять

стадий мигматизации. В течение каждой стадии стиль складчатости в породах различного состава (гнейсы, кварциты, карбонаты и т. д.) различен. Так, наименее пластичными оказываются кристаллические сланцы основного состава: в них, за исключением кульминационной стадии, преобладают блоковые дислокации.

### Складки платформенного типа

На первых порах изучения платформ описывались лишь складки облекания «нетектонического происхождения». Однако широкое развертывание нефтепоисковых работ на Восточно-Европейской платформе, начиная с 30-х годов, а на Западно-Сибирской и Туранской плитах — с конца 40-х годов, показало необходимость их выделения и внимательного изучения, поскольку с ними оказались связанными нефтяные и газовые месторождения. Эти весьма пологие (первые градусы, минуты) складки выделены в особый тип складчатости — *складки платформенного типа.* Данное понятие не охватывает все складки, встречающиеся на платформах, а отвечает лишь определенному типу складок, представители которого могут быть встречены также в подвижных (геосинклинальных) областях, где они могут быть заметны в пределах относительно стабильных участков, покровных образований массивов, в межгорных впадинах и т. д.

Н. С. Шатский назвал платформенные антиклинали *«плакантиклиналями»* и классифицировал их *по форме* (жигулевский, туймазинский, саратовский, бугурусланский типы и щитовидные поднятия). В. Д. Наливкин выделил: 1) *сквозные складки* (ранее — отраженные), имеющие замкнутые контуры по всем горизонтам, 2) *погребенные,* теряющие замкнутую форму в верхних горизонтах, 3) *навешенные,* теряющие замкнутую форму в нижних горизонтах, и 4) *дисгармоничные,* теряющие замкнутую форму в верхних и нижних горизонтах или имеющие более сложное соотношение планов. В качестве более крупных форм выделяются валы, полосы поднятий, мегантиклинали.

### Системы складок

Складки группируются в системы. Обычным является примерно параллельное расположение складок в плане, что говорит об их генетическом единстве, об общности движения материала при формировании складок. Однако не менее обычным является непараллельное расположение складок, в частности их расхождения, называемые *виргациями.*

*Виргации первого рода* — несколько примерно параллельных складок при движении по простиранию в обе стороны расходятся, отдаляясь друг от друга; *виргации второго рода* — схождение складок при движении по простиранию в обе стороны; *виргации третьего рода* — диагональные перемычки, наискось протягиваю-

щиеся через миндалевидные синклинальные впадины. Для областей погружения горных хребтов, в частности для юго-восточного погружения Кавказа, характерны сложные системы расположения складок в плане, сопровождающиеся ветвлением осевых линий и образованием кольцеобразных и крючкообразных поворотов.

М. А. Усовым были выделены *группы параллельных складок, кулисообразных складок, гирлянды, виргации и миндалевидные пучки.* Образование виргаций, миндалевидных пучков и гирлянд он связывает с существованием жестких масс и упоров, оказывающих внешнее механическое воздействие на осадочную толщу, в которой формируются складки. Роль жестких упоров являлась определяющим моментом в классификациях некоторых систем складок Р. Штауба (*изгиб, сцепление, виргации, скучивание*) и Э. Аргана (*простые* и *двойные,* «свободные» и «вынужденные» виргации). Представление об определяющем значении внешних воздействий на формирование складчатости хорошо отражено в понятии *«рамы складчатости»,* т. е. системы жестких областей и упоров, воздействие которых на пластичные зоны определяло направления складок.

При рассмотрении систем складок удобно использовать понятие *«зеркала складок».* Зеркало складок может быть горизонтальным, наклонным, выпуклым (в случае антиклинориев и сходных с ними систем складок) и вогнутым, а также иметь более сложную форму.

Зоны поперечных дислокаций свойственны всем линейным складчатым системам в геосинклинальных областях. Установление этих зон не менее важно, чем изучение самих складок, так как с ними часто связываются разнообразные рудопроявления. Поперечные системы дислокаций часто распознаются лишь по косвенным признакам (резкие фациальные изменения, резкие изменения мощностей, зоны интрузивных тел, зоны специфического метаморфизма, изменение стиля складчатости, повороты складок). Каждая четко выраженная линейная система складок осложняется поперечными нарушениями. Это является необходимым следствием того, что в линейной складчатой системе проявляется сжатие в направлении, перпендикулярном к ее оси, и растяжение в основном направлении. Создаются условия для реализации диагональных скалывающих напряжений, поперечных растягивающих усилий, а при внешнем боковом давлении на складчатую систему также скалывающих напряжений, перпендикулярных к ее оси.

Термин «складчатое сооружение» обозначает не только сложную систему складок. В историко-геологическом аспекте он употребляется часто для обозначения геосинклинальной системы или геосинклинальной области.

Резюмируя сказанное, отметим, что к системам складок относятся: а) параллельные и различные расходящиеся (виргирующие) системы, гирлянды и т. д., выделяемые при рассмотрении

расположения складок в плане на больших территориях; б) различные перекрещивающиеся системы складок; как те, так и другие тесно связаны с разломами; так, некоторые виргации совпадают со «структурами конского хвоста»; перекрещивающиеся системы складок обычно являются отражением перекрещивающихся систем разломов; в) сложные структурные формы, объединяющие складки высших порядков (антиклинории и т. д.); г) складчатые сооружения, представляющие крупные сочетания складчатых систем. Выделение систем складок, а в особенности складчатых сооружений, имеет большое значение для тектонического районирования и выяснения закономерностей размещения полезных ископаемых.

## Размещение складок и их связь с вмещающими структурными формами и строением фундамента

Еще Э. Арган выделил *покровные* и *глубинные складки*. Складчатость покровов задевает только тонкую пленку осадков или эффузивных пород и не распространяется на фундамент. Их примером могут служить складки чехла древних платформ, зависящие от движения фундамента, но не распространяющиеся на него. К этому же типу относятся многие складки в геосинклинальных складчатых областях, где широко развиты покровы скалывания и где в узких прогибах над опущенными блоками формируется сжатая, часто изоклинальная складчатость, не распространяющаяся на крупные блоки, перемещениями которых обусловливается существование самого прогиба.

Э. Арган отмечал, что «плоскости, делящие осадочный покров на этажи, различно относящиеся к деформации, реагируют как слои, играющие роль смазки и допускающие горизонтальные скольжения, и этим облегчают складчатость. Реже скольжение сопровождается отставанием всего покрова, который в этом случае скользит прямо по старому остову. Деформации этого рода могут также происходить, когда обширное пространство старого остова подвергается укорачиванию даже очень незначительных толщ под покровом, принужденным в результате местами сморщиваться» [Арган, 1935, с. 46—47]. Глубинные складки, по Э. Аргану, обладают большим радиусом, внушительным тоннажем, «который может превзойти вес самых больших геосинклинальных цепей» [1935, с. 47] и огромной энергией образования.

По современным данным пространственная связь складок и их систем с фундаментом и вмещающими крупными структурными формами прослеживается во многих геосинклинальных и платформенных областях. Огромное разнообразие крупных вмещающих структурных форм и их сочетаний обусловливает весьма большое разнообразие в проявлении складчатости.

Складчатость геосинклинальных областей крайне многообразна, и каждый отдельный случай требует конкретного исследования. В этом смысле очень показательны краевые прогибы,

являющиеся в большинстве своем линейными асимметричными синклинальными формами с внешним платформенным крылом и внутренним крылом, примыкающим к складчатой зоне. В соответствии с такой асимметрией находится и распределение складчатости в краевых прогибах. На платформенных крыльях обычно развиты куполовидные, расплывчатые по очертаниям или коробчатые складки, приближающиеся по типу к платформенным складкам, а внутренние крылья осложнены линейными, часто весьма сжатыми складками.

С крупными структурными формами подвижных областей, так же как с краевыми прогибами, связаны складки разных типов и разного генезиса. Изображение распределения типов складок в какой-либо геосинклинальной области или ее части в увязке с общей структурой этой области будет представлять собой тектоническое районирование по типам складчатости. Наряду с районами по типам складчатости выделяются *этажи складчатости,* границы которых не обязательно совпадают со стратиграфическими границами. Так, на Юго-Восточном Кавказе выделяют *глубокий этаж* с изоклинальными складками, *средний этаж* с симметричными, иногда коробчатыми, складками и *верхний этаж* с крупными сравнительно простыми коробчатыми складками. Стратиграфический объем этажей непостоянен. Понятие этажа складчатости, основанное исключительно на морфологии складок, не соответствует понятию структурного этажа.

Часто в геосинклинальных областях наблюдается зависимость складчатости от литологии смятой толщи. Чем однороднее литологический состав смятых пластов, тем проще складчатая структура, наоборот, при пестроте литологического состава и большом количестве мелких прослоев глин среди мощных и жестких пластов форма складок сложнее; они сопровождаются явлениями кливажа, плойчатости и т. д.

Анализ формирования складчатости не может быть подчинен общим правилам, которые были бы пригодны для всех или большинства случаев.

На платформах пространственные связи складок с вмещающими структурными формами выражены менее четко, чем в подвижных областях, поскольку на платформах не создаются столь определенные рамки для развития складчатости, как в подвижных областях. Небольшие размеры прогибания и часто изометричные или близкие к тому очертания синеклиз обусловливают незначительные высоты и отсутствие четкой ориентировки длинных осей осложняющих их складок.

Расположение и развитие платформенных складок могут определяться особенностями складчатого основания. Они состоят, во-первых, в продолжающемся во время формирования платформенного чехла развитии складчатости основания и в ослабленном отражении складок основания в структуре чехла (*унаследованная складчатость*); во-вторых, в образовании расколов в складчатом основании, которые отражаются в структуре чехла в виде

резко асимметричных или флексурообразных складок. Кроме того, на фоне пологой платформенной складчатости могут быть заметными явления облекания и уплотнения.

Зависимость формирования платформенных складок от движений вмещающих синеклиз, по В. А. Магницкому, сводится к следующему. Синеклиза будет выпуклой, если размеры ее прогибания незначительны по сравнению с кривизной поверхности Земли. При прогибании выпуклой синеклизы до хорды земной поверхности происходит сокращение поверхности и объема отложившихся на площади синеклиз осадочных толщ. Сокращение поверхности и объема вызывает коробление слоев в синеклизах и образование платформенных складок. Такое понимание механизма складкообразования в условиях платформ объясняет пространственную связь платформенных складок с синеклизами, обычное отсутствие их на антеклизах, постепенный рост складок по мере прогибания синеклиз. Поэтому в синеклизах и вообще на плитах развиваются сложные напряжения, обусловливающие наряду с вертикальными подвижками некоторое сжимание материала в боковом направлении.

Важное дополнительное доказательство развития сжимающих усилий в синеклизах дают наблюдения над так называемыми *мелкими платформенными складками,* размеры которых определяются метрами, десятками, реже сотнями метров. Этим складкам часто приписывается оползневое или ледниковое происхождение, однако работами М. М. Тетяева, Л. Н. Розанова, В. В. Бронгулеева, М. П. Казакова и других установлены их пространственная и генетическая связь с крупными пологими структурными формами платформ и тектоническое происхождение. Мелкие складки связаны с интенсивным сжатием, проявлявшимся в местах наиболее вероятной разгрузки общего напряженного состояния синеклиз.

Кроме мелких складок указываются и другие признаки значительных тектонических напряжений в чехле. Так, В. В. Бронгулеев отмечал разрывы и горизонтальные смещения частей некоторых нептунических даек с амплитудой до 2,5 м вдоль плоскостей напластования вмещающей толщи опок. Эти факты хорошо увязываются с тем, что при прогибании геометрически выпуклой синеклизы неизбежно возникают напряжения, имеющие как вертикальные, так и горизонтальные составляющие.

А. Л. Яншиным раскрывается связь между унаследованной складчатостью молодых чехлов и платформенной складчатостью. Платформенная складчатость, генетически связанная с синеклизами, является образованием, исторически более поздним в развитии данной области платформенного строения, чем постумная (унаследованная) складчатость, характеризующая только начальные моменты формирования структуры платформенного чехла.

## Изменение мощностей и фациальных характеристик слоев в складчатой структуре

В складчатой структуре распределение мощностей слоев может быть как равномерным, так и неравномерным, причем эта неравномерность может зависеть или не зависеть от расположения складок.

Если мощности постоянны, то слои сохраняют взаимно параллельное расположение, а изгибы слоев располагаются концентрически *(концентрические складки)*. Если мощности слоев возрастают к своду, причем образуют утолщенные ядра в наиболее пластичных горизонтах, то слои теряют параллельность, а изгибы их сохраняют некоторое подобие и одинаковые наклоны для различных горизонтов *(подобные складки)*.

По характеру изменения мощностей слоев выделяются четыре типа складок:

1. *Складки со слоями постоянной мощности,* образующиеся после завершения накопления слоистой толщи, в которой они наблюдаются.

2. *Складки с увеличенными мощностями* в *сводах* по полевым и экспериментальным данным связаны с перераспределением материала в процессе складкообразования и его аккумуляцией за счет утонения крыльев.

Складки, в которых мощности слоев вторично изменены при складкообразовании, вследствие чего формы изгибов разных слоев существенно различны, называются *дисгармоничными складками.*

Характерным примером складок с относительным увеличением мощностей в сводах являются *изоклинальные складки,* т. е. складки с параллельными крыльями.

Э. Огом и С. Бубновым изоклинальная складчатость рисовалась как группа сжатых до соприкосновения крыльев складок, в которые вовлечена сравнительно маломощная толща слоев. Складки изоклинальной системы не могут продолжаться в выше- и нижележащие толщи и неизбежно отделяются от них по поверхности срыва. Позднее была установлена неправомерность такого представления [Войновский-Кригер, 1948]. Изоклинальная складчатость допускает неограниченное наращивание вверх и вниз и может, таким образом, продолжаться в выше- и нижележащих слоях, охватывая толщи любой мощности. Изоклинальные складки обладают небольшими размерами (единицы и десятки метров), острыми окончаниями ядер, вытягиванием замков в виде длинных «носов». Крылья изоклинальных складок не совсем параллельны и сходятся под острыми углами. Системы изоклинальных складок сопровождаются разрывами, близко совпадающими со слоистостью, осложнены чешуйчатыми структурами, а также срезыванием и раздавливанием отдельных прослоев. По одному из слоев, образующих серию изоклинальных складок, можно замерить расстояние между замками антиклиналей и син-

клиналей; это расстояние называют *размахом изоклинальной складчатости*. «Любой пласт толщи со всеми своими изгибами заключается в пределах некоего плоского тела с мощностью, равной размаху данной складчатости. Это тело можно было бы назвать *сложным слоем* изоклинальной складчатости» [Войновский-Кригер, 1948, с. 73]. «Сложный слой» включает частично ниже- и вышележащие горизонты. Стратиграфические взаимоотношения в изоклинальных сериях определяются положением в пространстве сложных слоев, а отнюдь не падением пород в изоклинальных складках.

3. *Складки с уменьшенными мощностями в сводах антиклиналей.* Такое распределение мощностей не связано с их искажениями за счет механических перемещений, а обусловлено особенностями осадконакопления, происходящего одновременно с поднятием антиклиналей и погружением синклиналей.

Непрерывному осадконакоплению в синклинали может соответствовать прерывистое осадконакопление на антиклинали. Так, известно, что некоторые прослои не распространяются на повышенные участки поднятия, а появляются только при движении вниз на крыле, увеличиваясь в мощности к синклинали; при этом может изменяться их литологическая характеристика.

Конседиментационное развитие устанавливается также для линейных складок и крупных форм линейной складчатости.

4. *Складки с различным распределением мощности в разных слоях.*

Сочетания первого и второго типов складок, получающиеся при механической разнородности различных слоев, можно видеть в тех дисгармоничных складках, в строении которых участвуют как слои, меняющие свои мощности в процессе деформации, так и слои, мощности которых не изменяются.

Сочетания первого и третьего типов представлены в складках, образованных последовательной сменой или чередованием слоев *с постоянной мощностью и слоев с уменьшенной* мощностью на сводах складок. Такие сочетания могли возникнуть, когда складкообразование начинается позднее начала, но раньше конца формирования толщи, участвующей в складчатости, или же в случае прерывистого роста складок. Сочетания второго и третьего типов можно видеть *в диапировых складках. Сочетания первого*, второго и третьего типов распределения мощностей также широко распространены. Достаточно указать на многие обладающие дисгармоничным ядром соляные купола, в строении надсолевых сводов которых участвуют как слои постоянной мощности, так и слои, *выклинивающиеся или утоняющиеся в направлении свода.* Такое чередование слоев в надсолевой структуре указывает на прерывистость роста соляного купола.

В природе наблюдаются две обычно сосуществующие формы проявлений складчатости: в слоях, формирующихся во время образования складок, и в слоях, *сформированных к началу* складкообразующих движений.

С. С. Шульц назвал первую форму проявлений складчатости *конседиментационной складчатостью* (складчатость, происходящая в одно время с отложением рассматриваемых дислоцированных осадков), а вторую форму — *постседиментационной складчатостью*.

Примером преобладания постседиментационной формы проявления складчатости могут быть не выходящие за пределы одного слоя или толщи мелкие складки в пластичном материале (складки волочения).

Примером относительно мелких складок, формирующихся на глубине, являются системы изоклинальных складок, размеры которых незначительны по сравнению с глубиной образования и которые геоморфологически не выражены. Складки, состоящие из чередования слоев, во время отложения которых рост приостанавливался, иногда называют *прерывноконседиментационными*.

С конседиментационным развитием складок связано создание различных фациальных обстановок в прогибающихся синклиналях и поднимающихся антиклиналях. В результате могут формироваться литостратиграфические горизонты (тела), распространение которых ограничивается только крыльевой или только сводовой частью складок.

Известны случаи, когда песчаные горизонты распространены только на сводах поднятий; они представляют собой линзы и выклиниваются вниз по падению. Появление таких песчаных линз связано с мелководьем и наличием течений, образующих на подводных антиклинальных выступах песчаные банки.

Известны также случаи нахождения линз и массивов рифовых известняков на антиклинальных поднятиях.

Рост конседиментационных складок часто влияет на распределение угленакопления, а также на биоценозы, специфические для сводовой части складки или одного из ее крыльев (Днепровско-Донецкая впадина).

А. Е. Киселевым и Я. О. Кульчицким введены понятия *импульсов* и *эпицентров* конседиментационной складчатости. Ускорение роста складок, соответствующее относительно короткому интервалу времени, создает импульсы для аккумуляции нефти и газа, в этих складках под эпицентром понимается проекция на горизонтальную поверхность активно поднимавшегося свода конседиментационной складки. Такие своды «блуждают» во времени, и поэтому эпицентры, определяемые по изменениям мощностей и фаций по отдельным горизонтам и относимые к соответствующим интервалам времени, смещены друг относительно друга, в совокупности образуя на дневной поверхности рой эпицентров. Для Вилюйской синеклизы и Предкарпатья показана зависимость аккумуляции нефти и газа от импульсов и эпицентров, что может представлять важный критерий для поисков этих полезных ископаемых.

Следует подчеркнуть влияние глубины водоема на местные

фациальные изменения, связанные с ростом складок. Чем мельче бассейн, тем фациальные изменения представлены резче. В условиях мелководья могут возникать отмели и даже острова, а следовательно, выклинивание и размывы ранее отложившихся осадков. Таким образом, область осадконакопления будет утрачивать свой сплошной характер, на ней будут появляться «прогалины». В условиях мелкого бассейна превышения дна, связанные с ростом тектонических поднятий, будут значительными по отношению к глубинам и, следовательно, фациальные изменения осадков от антиклиналей к синклиналям могут быть вполне ощутимы. В условиях же глубокого дна фациальные изменения менее заметны, так как формы рельефа дна, отражающие роль складок, будут незначительными по сравнению с общей глубиной бассейна.

Практически важный вопрос о смещении сводов складок с глубиной тесно связан с вопросом о распределении мощностей в складчатой структуре.

В большинстве антиклиналей при переходе к более глубоким горизонтам наблюдается смещение сводов как вкрест простирания оси, так и вдоль нее. Обстоятельство это имеет кардинальное значение при поисках и разведке нефтяных залежей, так как опыт бурения в различных нефтеносных областях СССР показывает, что ориентировать разведку по сводам в поверхностных горизонтах, намечаемым по данным геологического картирования, в большинстве случаев нельзя. Приходится дополнительно исследовать ряд факторов, влияющих на возможное смещение сводов. Главными из этих факторов являются региональные изменения мощностей, наличие и характер перерывов, механические особенности деформации пород при складкообразовании, явления дисгармонии и т. д. Для решения вопроса о положении свода на глубине в ряде случаев целесообразно применение структурного бурения.

Особенно важную роль в установлении положения сводов в глубоких горизонтах играют геофизические методы и в первую очередь сейсморазведка и гравиразведка.

Несоответствия сводов обусловлены разными причинами. В связи с этим может быть выделено несколько типов смещения сводов.

1. *Смещение сводов при наклоне осевой поверхности.* Это наиболее обычный (геометрический) тип смещения, которое получается в наклонной складке, образованной слоями неменяющейся мощности.

2. *Дисгармоничное смещение* возникает при складкообразовании в толщах, состоящих из слоев разной пластичности, которые ведут себя неодинаково в процессе складкообразования.

3. *Смещение сводов при региональном* (фоновом) *изменении мощностей* может происходить как в сторону пологого, так и в сторону крутого крыла складки, вдоль оси складки, а также в любом другом направлении; своды в более глубоких горизонтах

всегда смещаются в направлении регионального убывания мощностей.

4. *Смещение сводов, связанное с особенностями поверхностных условий накопления осадков над растущими антиклиналями.* Разновидности этого типа: а) смещение сводов в непрерывной толще осадков и б) смещение сводов в толще осадков, разделенной перерывами.

Изменения мощностей и фациально-литологические особенности осадков в пределах складки связаны с тектоническими движениями через рельеф или в более широком понимании через геоморфологическую обстановку, которая возникает на рассматриваемом участке в процессе формирования тектонических форм. Однако как в формировании рельефа, так и в складкообразовании принимают участие экзогенные факторы (распределение течений в плане и по вертикали, подводнооползневые явления, различные виды денудации).

Смещение сводов в различных стратиграфических горизонтах обобщается в понятии *планового несоответствия.*

## О механизме образования складок

Динамические условия формирования складчатости в течение долгого времени представлялись как сокращение и сморщивание слоев, слагающих земную кору в результате контракции, вызываемой постепенным охлаждением Земли.

Во второй половине XIX в. и начале XX в., в период господства контракционной гипотезы, геологов более всего занимал вопрос о направлении наибольшего сжатия или, как привыкли говорить, давления. В эту эпоху были значительно развиты упрощенные представления, связывающие ориентировку складок и наклона их осевых поверхностей с направлением усилий или давлений. Следует отметить большую положительную роль русских геологов М. П. Рудзского и Н. А. Головкинского, указавших, что формирование складок определяется не направлением давления, а движением материала, образующего складки, и особенностями этого движения. Так, в работах М. П. Рудзского (1889 и 1892 г.) показана несостоятельность принципов Э. Зюсса и А. Гейма в вопросах определения направления наклона и опрокидывания складок.

Динамические условия формирования складчатости (силы, формирующие складчатость) могут быть весьма различными.

В отношении образования складок существуют различные представления, не исключающие друг друга, а именно: 1) двустороннее или одностороннее боковое сжатие, 2) сжатие в слоях покрова в результате надвиговых перемещений блоков основания, 3) перекашивание участков земной поверхности в общем вращательном горизонтальном движении, 4) проскальзывание слоев (волочение), 5) погружение платформенных синеклиз до хорды выпуклой земной поверхности, 6) смятие в прогибах при общем

их подъеме, 7) сползание пластичных масс по склонам крупных поднятий в процессе их общего подъема (*гравитационный тектогенез*), 8) знакопеременные движения по сбросам или по сдвигам и др.

Перечисленные динамические условия формирования складчатости не исчерпывают всего возможного природного многообразия. Наиболее вероятно комбинированное проявление нескольких из перечисленных вариантов.

---

*Механизм формирования* складок может быть весьма различным. Любая происходящая без разрыва сплошности деформация слоистой среды или тела, обладающего слоистой структурой, ведет к образованию складок. Единственным исключением может быть сдавливание в направлении, перпендикулярном к слоистости, которое должно вести только к уменьшению мощности слоев. Но и в этом случае благодаря *неоднородности вещества*, образующего слои, возникают складки уплотнения. Таким образом, складки могут возникать в результате действия любого реального механизма (боковое сжатие, перекашивание, движение по разломам и т. д.). Это не значит, что любые складки (или их системы, совокупности и т. д.) могут быть созданы за счет любого механизма. Наоборот, надо думать, что каждому специфическому механизму соответствуют особые типы складок (или их систем) и порядок их размещения в пространстве. Например, для фронтальных складок, созданных за счет одностороннего бокового сжатия, характерно группирование их в систему параллельных складок с постепенным затуханием (уменьшение высоты, уменьшение наклона крыльев) при удалении от фронта приложения сил; для надразломных складок характерно их обособленное положение, следование оси (шарнира) складки направлению разлома, наличие растянутых (флексурных) крыльев и т. д.

Представляется очень существенным создание генетической *классификации складок*, в которой каждый генетический признак — каждый реальный механизм складкообразования — был бы увязан с морфологическими чертами, свойственными определенному типу складок. При наличии такой классификации исследование пликативных дислокаций может стать методом выяснения динамического режима Земли, т. е. выяснения величин, направлений, *продолжительности и изменчивости* во времени действующих тектонических усилий. Поскольку складки в гипергенной оболочке распространены повсеместно, такой метод можно будет рассматривать как универсальный.

Вопрос о влиянии неоднородности состава слоистой толщи на ход складкообразования и форму складок иногда сводится к разделению слоев по степени *компетентности* (т. е. на компетентные, слабокомпетентные, некомпетентные и т. д.).

Если считать, что разделение слоев по компетентности и выделение высококомпетентных пачек в слоистой толще нужны

были для объяснения возможности передачи через них усилий на большие расстояния, то простые расчеты показывают, что горные породы осадочной толщи, в частности наиболее крепкие из них — известняки, песчаники и т. д., не способны передавать усилия на большие расстояния, так как будут раздроблены усилиями, значительно меньшими, чем это требуется для складкообразования. Следовательно, для изучения поведения в складкообразовании слоев различного состава надо слои разделить не по признаку их способности передавать давления, а по особенностям их движения при формировании складок. Решение этой задачи было очень удачно намечено В. В. Белоусовым, который указывал, что на форму складок влияют пластичность пород и толщина слоев, а именно в породах более пластичных и тонкослоистых образуются более острые и крутые складки, чем в тех же условиях в породах твердых и толстослоистых.

Форма складки в чередующемся комплексе слоев определяется породами, преобладающими в разрезе (*диктующие слои*), будь то слабые или пластичные глины или твердые известняки.

## ИНЪЕКТИВНЫЕ ДИСЛОКАЦИИ

Помимо дизъюнктивных и пликативных дислокаций, являющихся главным образом результатом перемещения участков слоистой структуры (или геологических границ и тел сообща), следует выделять еще одну форму дислокаций, заключающуюся во внедрении или проникновении вещества одного (или двух) геологического тела (слоев) в пространство, занимаемое другими геологическими телами (слоями). К таким дислокациям относятся диапировые складки с глиняными и соляными ядрами, магматические интрузивные тела, трещинные магматические и соляные инъекции, нептунические дайки 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 новых геологических тел с самостоятельной формой залегания в результате аккумуляции вещества, проникающего из одних слоев в другие.

В 1972 г. А. В. Тарасов предложил определять инъективные дислокации (ИД) как нарушение залегания горных пород и образование новых тектонических форм под действием инъективных тел (ИТ), сложенных веществом, перемещенным из одного участка в другой. Это определение более полно, чем данное мной в 1969 г. Действительно, у А. В. Тарасова вещество перемещается не только из нижнего слоя в верхний (что, конечно, наиболее рас-

пространено и типично), но из одного участка в другой. Это правильнее, так как инъективное тело может распространяться вдоль слоя (например, силлы, непосредственно связанные с какой-либо трапповой камерой) или же в нижние слои, что может быть при складкообразовании в неоднородной толще, когда вещество верхних пластичных (подвижных) слоев «затекает» в полости разрывов в нижнележащей хрупкой толще.

Между инъективными дислокациями, с одной стороны, и дизъюнктивными и пликативными — с другой, нельзя провести резких граней. 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, инъекции магмы и даже ее поверхностные излияния могут считаться крайней формой дисгармоничной складчатости. Разломы, в полости которых внедрился пластичный, жидкий или брекчированный магматический и 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 и его хронологические следствия. К инъективным дислокациям можно было бы отнести внутриформационные тела тектонических и кристаллизационных брекчий, а также внутриформационные тела мигматитов и анатектитов в толщах метаморфических пород. Эти тела могут рассматриваться в петрологическом аспекте, т. е. с точки зрения образования новых горных пород тектонического или ультраметаморфического происхождения, но могут рассматриваться и в тектоническом аспекте как результат перемешивания материала отдельных прослоев внутри толщи и проникновения материала одних прослоев в пространство других. Однако в тех случаях, когда они не образуют тел с самостоятельными формами залегания, мы не будем их относить к инъективным дислокациям, считая более правильным их рассматривать в аспекте петрологическом.

С перемещением материала нижних слоев в пространство верхних связано возникновение различных компенсационных опусканий, сопутствующих некоторым видам инъективных дислокаций (например, краевые синклинали на соляных куполах, синклинальные вдавленности на грязевых вулканах, кальдеры и другие вулкано-тектонические депрессии и т. д.).

Геологические тела (ядра проникновения, 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 тектонические

формы. Размеры их, как правило, не превышают 3—4 порядка; лишь размеры наиболее крупных батолитов и соляных куполов типа Чалкарского и Баскунчакского принадлежат третьему порядку. Инъективные дислокации могут возникать в результате различных процессов и в соответствии с этим могут обладать различным механизмом. К причинам, порождающим эти дислокации, можно отнести: а) механическое выдавливание пластичных 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 асимиляцией 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 нептунические дайки); д) перенос вещества в растворенном виде или в тонкодисперсной форме из нижних слоев и аккумуляция его в верхних слоях с образованием геологических тел соответствующего состава (гранитные батолиты метасоматического происхождения, жилы аморфного кремнезема).

По-видимому, должна быть принята какая-то общая система терминов для описания инъективных дислокаций, подобная тем системам, которые применяются при описании 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 дислокаций, почти всегда рассматривающиеся раздельно, а именно: группу дислокаций, связанных с перемещением осадочных пород или осадочного материала, и группу дислокаций, связанных с перемещением магматических масс. Дислокации обеих групп обладают некоторыми общими чертами, что позволяет использовать сравнительный метод при исследовании процессов, создающих дислокации как первой, так и второй группы. Такая мысль была высказана Б. П. Высоцким, предлагавшим использовать солянокупольную структуру в качестве модели для исследования тектонических процессов, связанных с магматизмом.

### Диапировые складки, соляная и гипсовая тектоника

Собственно *диапировыми складками* обычно именуют антиклинали с *ядрами протыкания*, сложенными пластичными глинистыми или соленосными интенсивно смятыми слоями и протыкающими менее пластичные вышележащие слои. Среди диапировых складок юго-восточного погружения Кавказа И. М. Губкин различал *купола диапирового строения*, или складки с ядром про-

тыкания, и *купола*, представляющие неразвившиеся диапировые структуры, остановившиеся на некоторой первоначальной стадии развития. Такие складки А. Д. Архангельский назвал *криптодиапировыми*.

Н. Б. Лебедевой о диапировых складках Керченско-Таманской области были высказаны такие соображения. Поскольку плотность глинистых пород крыльев составляет в среднем 2,3, плотность же насыщенных водой и газом майкопских глин в ядрах антиклиналей — всего 1,5—2,0, то на одном и том же гипсометрическом уровне давление в синклиналях оказывается бóльшим. Вследствие этого глинистые массы будут выдавливаться (течь, нагнетаться) из синклиналей в ядра антиклиналей, что близко механизму роста (всплыванию) соляных массивов или же к аномально-плотностным складкам М. В. Гзовского.

Со многими диапировыми складками, сложенными глинистыми и песчано-глинистыми толщами, тесно связаны грязевые вулканы. Важным тектоническим результатом действия некоторых грязевых вулканов являются *синклинальные вдавленности* в сводах осложненных вулканами складок. Вдавленности обязаны выносу больших объемов вулканических брекчий. Синклинальные вдавленности были описаны еще Н. А. Головкинским в 1889 г. на Керченском полуострове, а затем отмечались в Азербайджане. Г. А. Лычагин разработал представление о механизме их формирования.

К инъективным дислокациям относится *гипсовая тектоника*, связанная с превращением ангидрита в гипс в поверхностной зоне Земли (обычно до глубины 100 м), сопровождающимся увеличением объема породы до 61 %. Такое расширение ведет к интенсивным приповерхностным дислокациям гипсовых толщ, сопровождающимся прорывами гипсов сквозь покрывающие породы, резким возрастанием наклонов гипсовых прослоек (толщ). Участки разреза, где гипсы тонко чередуются с алевролитовыми, глинистыми или песчаниковыми прослоями, превращаются в *кристаллизационные брекчии*, связанные с раздроблением терригенных прослоев расширяющимися гипсами. Такие брекчии часто принимаются за тектонические и наряду с резким смятием и гофрированием наклонных прослоек гипсов они часто принимаются как свидетельство крупных горизонтальных перемещений типа шарьяжей. Однако кристаллизационные брекчии никогда не являются меланжем, так как состав их всегда однороден, а обломки и цемент не несут следов горизонтальных скольжений или перемещений.

Широко распространенная группа инъективных дислокаций представлена *соляной тектоникой*. Соляная тектоника, хотя она и связана со структурными формами небольшого размера (обычно 4 порядка) и небольшой глубиной заложения (1 км, в некоторых случаях 10 км и более), представляет собой общетектонический, так сказать, планетарный интерес. Дело в том, что соляная тектоника — это результат «чистого» проявления гравитационных сил,

и на ее примерах, как моделях, может рассматриваться сущность гравитационных общеземных процессов. Можно полагать, что как тектонические движения, результаты которых мы наблюдаем в дислокациях приповерхностных зон Земли, так и глубинные тектонические движения имеют динамическую природу, определяемую, во-первых, горизонтальными силами и движениями, связанными с космическими воздействиями (см. главу V), и, во-вторых, постоянно действующими гравитационными силами, направленными по радиусам Земли. Взаимодействием этих двух геодинамических факторов возможно объяснить с учетом неоднородности строения и состава Земли и ее геосфер всю совокупность тектонических форм и процессов. Соляная тектоника как модель важна только для радиальных движений и их вклада в развитие тектонических форм различных размеров. Соляная тектоника как таковая развита только на платформах, где она зарождается и развивается в чехлах, располагающихся на жестком (называемом также «кристаллическом») фундаменте, который в значительной степени предохраняет ее от не свойственных ей самой посторонних влияний (горизонтальные смещения, складчатость и т. д.). Соляная тектоника развивается всегда на базе соленосных формаций с мощными соляными пластами. Если кровля соляных пластов плоская и горизонтальная, то «течение» соли не происходит; в пределах же изгибов каменная соль (так же как и включенные в нее калийные соли, если они есть) начинают «течь» по направлению к вершинам поднятий.

Из нижних участков склонов поднятий (до точек перегиба, с положительной кривизной) соль перемещается в верхние участки поднятий (с отрицательной кривизной). Поэтому над нижними участками склонов вышележащие слои погружаются, образуя впадины, часто полностью окаймляющие купол («кольцевые» впадины). Таким образом, течение соли происходит в пределах начального поднятия и ведет к ее перераспределению между куполами и краевыми впадинами. Этот механизм может служить моделью для некоторых случаев гравитационного (изостатического) перераспределения вещества в недрах Земли и образования в связи с этим крупных структурных форм. Однако соленосные формации бывают построены сложно — мощности соляных пластов могут быть изменчивы, пласты могут выклиниваться, залегать линзообразно или замещаться другими породами, характерными для этих формаций, например, ангидритами, известняками, мергелями, глинами и другими. В таких случаях условия локализации и роста соляных куполов весьма усложняются и становятся разнообразными в соответствии с конкретными обстановками. Поскольку глубокие земные недра могут быть весьма разнообразны по составу и обладать сложным строением, процессы гравитационного распределения вещества в них могут быть различны. Однако и в этих случаях изучение соляной тектоники очень важно для суждений по аналогии о глубинных гравитационных процессах.

Течение соли связано с тремя кардинальными ее свойствами как горной породы; это, во-первых, низкая плотность соли сравнительно с плотностями покрывающих ее толщ, во-вторых, способность соли к пластическому течению, в-третьих, ее компактность. Вследствие низкой плотности соли (2,15) петростатическое давление на некоторую горизонтальную плоскость, проходящую внутри соляной толщи, оказывается меньшим над поднятыми частями поднятий и большим — над подножьями поднятий. Этим обусловливается «течение» соли к центрам выпуклости и образование соляных куполов. При больших глубинах залегания соленосных толщ и малых размерах начальных поднятий соляные массы при своем продвижении вверх в силу принципа минимальной работы при деформации принимают округлое сечение, образуя, таким образом, *соляные штоки*. Роль пластичности соли в процессе роста соляных поднятий обусловлено тем, что под давлением происходит не только деформация кристаллов, но и перекристаллизация; таким образом, соль «течет» без хрупких раздавливаний, образования трещин или превращения в брекчии. Наконец, компактность соли обязана ее сплошному кристаллическому строению, при котором внешние силы не могут изменить объем породы за счет перераспределений частиц или образования более компактных минералов, как, например, при «обратном процессе» гипсовой тектоники (т. е. при погружении) гипсы на глубине нескольких десятков метров превращаются в ангидрит с сокращением объема в полтора раза, но с сохранением в этих новообразованных ангидритах сложности тектонического рисунка, образующегося в результате гипсовой тектоники. Это фундаментальное свойство (компактность) сказывается на всех процессах соляной тектоники.

Поскольку чем выше соляное поднятие и, следовательно, больше разность петростатических давлений, соляной купол (шток) быстрее растет (*закон ускоренного роста соляных куполов*). Однако закон этот действителен в известных пределах; так, вершина соляного массива, достигая в своем росте уровня грунтовых вод, «слизывается» ими вследствие высокой растворимости каменной и калийной солей в воде. Вершина массива ограничивается горизонтальной плоскостью («соляное зеркало»), выше которой накапливаются обломки практически нерастворимых пород, всегда содержащихся в соляной толще в виде прослоев или включений. В результате этого процесса рост соляного массива приостанавливается, а над ним накапливается «каменная шляпа» или «кэпрок». Обычно кэпроки состоят из гипсов с примесью известняков, доломитов и мергелей, а иногда, как в Днепровско-Донецкой впадине, значительных скоплений диабазов, располагающихся пластами в соленосной толще; в таком случае мощность кэпрока может достигать нескольких сотен метров. В условиях пустынь грунтовые воды иногда не мешают росту массивов, в результате чего образуются соляные столбы над земной поверхностью. Грунтовые воды, нагрузка со стороны кэпроков и соля-

ных столбов, а также низкая плотность близповерхностных пород, мешающая всплыванию соли, ведет к замедлению и остановке роста соляных массивов.

В складчатых областях, где обусловленное гравитационными силами движение соли вверх накладывается на формирование складок, могут возникать очень сложные структурные формы, которые часто ошибочно связывают с представлением, что соль в силу своей пластичности, играет роль смазки, обусловливая особенную сложность некоторых складчатых структурных форм. А ведь это перемещение имеет как вертикальную, так и горизонтальную составляющую. На этом примере можно наметить путь к исследованию горизонтальных перемещений с введением метрики. Важным инструментом в реконструкции горизонтальных движений могут стать палинспастические карты, если в их основу ввести фактический материал и достаточно строгий метрический аппарат.

В отношении исследований горизонтальных движений геологического прошлого пока не существует конкретной метрической разработки. Вопрос этот только поставлен. Он открывает широкий путь для исследования и, можно не сомневаться, для решения вопроса о новых путях поисков полезных ископаемых.

### Дислокации флюидного происхождения

К этому типу мы относим инъективные дислокации, обязанные переносу вещества из одних слоев в другие в виде флюидов (в водных и газовых растворах). Дислокации, связанные с перемещениями магм, пластичностью горных пород (гипсы, соль, серпентиниты и т. д.), а также взвешенных частиц в потоках воды (нептунические дайки) сюда не входят и рассматриваются отдельно. Среди инъективных дислокаций флюидного происхождения различают жилы и метасоматические тела.

К инъективным телам флюидной природы, образующимися из растворов в раскрытых полостях вмещающих толщ, относятся прежде всего жилы.

*Жилы* представляют собой весьма распространенную группу инъективных дислокаций, обязанных перемещениям вещества в растворенном состоянии. Это вещество, осаждаясь, заполняет полости трещин (дизъюнктивов) или участки в трещиноватых и пористых породах. Жилы обладают сравнительно небольшими размерами (7-го — 5-го порядка). Поверхность соприкосновения жил с окружающими породами называется *зальбандом*; в наклонных жилах различают *висячий* (над жилой) и *лежачий бока*.

Различают жилы *простые* и *комплексные*, возникающие соответственно в результате однократной или многократной инъекции раствора в полость одной и той же трещины. *Неправильные жилы* характеризуются резкой изменчивостью мощности, *сетчатые жилы* — наличием сети пересекающихся ответвлений. Изометричные тела, характеризующиеся густой сетью пересекающихся рудных жил, прожилков, называются штокверками. Среди систем

жил выделяют *сопряженные жилы* — две группы жил с одинаковым простиранием, но противоположными наклонами, и *координированные жилы* с простираниями, пересекающимися под углом 90°. Рудное тело, приуроченное к системам мелких жил, сконцентрированных в зоне таблитчатой формы, представляет собой *минерализованную трещинную зону*, или *залежь*. Особым морфологическим типом жил являются *лестничные и седловинные жилы* с короткими перпендикулярными к зальцбандрудным жилками. Различают также *рубцовые жилы*, характеризующиеся последовательными *раздувами* (утолщениями), *четковидные*, если раздувы эти часты, а жила напоминает четки, камерные жилы сопровождаются изометричными крупными раздувами.

Особо различаются *бестрещинные жилы*. Выделение и экспериментальное обоснование этого типа инъективных дислокаций принадлежит Г. Л. Поспелову. Бестрещинные жилы — это тела, жилоподобная форма которых определяется не выполнением полостей трещин, а процессами, связанными с перемещением диффузионных фронтов в породе, а также зональной сорбцией. В экспериментальных условиях воспроизведены процессы диффузии двух реагентов, заканчивающиеся выделением труднорастворимых солей в виде жилоподобного тела. К бестрещинным жилам могут относиться штокверковые зоны сложного и прихотливого строения жил и сеток жил при отсутствии интенсивного дорудного дробления.

*Метасоматоз* как процесс одновременного растворения и отложения с образованием новых минералов, замещающих ранее образованные минералы. С метасоматозом (см. ниже) связано полное или частичное образование таких крупных гранитоидных тел, как батолиты, которые будут рассматриваться как магматические дислокации, так как метасоматические новообразования в этом случае трудно отличить от «первичных» гранитоидов.

Метасоматические инъективные дислокации могут иметь различное отношение к структуре вмещающих толщ. Образование метасоматических инъективных тел часто тесно связано с залеганием слоев и расположением трещин в материнской породе. Так, метасоматические тела могут пересекать первичную слоистую структуру, могут быть связаны с разломами или трещиноватостью; инъективные дислокации могут располагаться вдоль контактов проницаемых и непроницаемых толщ, вдоль поверхностей напластования, вдоль прослоев проницаемых (или подверженных метасоматическому процессу) слоев; причем здесь играет роль как состав породы, так и состав флюидов, а также другие условия.

Особыми типами инъективных дислокаций метасоматического происхождения являются «висячие блоки», т. е. тела, отшнурованные и потерявшие пространственную связь с каналами распространения формировавших их флюидов. Известны метасоматические тела, внутри которых сохранилась слоистая и даже складчатая структура вмещающих толщ. С другой стороны, встре-

чаются метасоматические тела, формирование которых сопровождалось дислокациями вмещающей толщи, например, образованием изгибов слоев и их смятиями в ближайшей окрестности дизъюнктивного тела.

### Магматические дислокации

К инъективным дислокациям могут быть отнесены все магматические интрузивные тела в совокупности с сопровождающими их изгибами и разломами во вмещающих толщах. В общем виде здесь усматривается аналогия с диапировыми ядрами и соляными массивами с сопутствующими дислокациями вмещающих и вышележащих слоистых толщ.

Магматические интрузивные тела представляют собой результат проникновения магматического материала снизу из «слоев», в которых возникают или возникали магматические очаги. Глубина расположения этих слоев и их состав определяются гипотетически. В этом смысле состояние изученности связи магматических интрузивных тел с «материнскими» слоями соответствует начальным стадиям изучения соляных куполов.

Ю. А. Кузнецов отмечал, что наиболее распространены представления, что все интрузивные тела, в том числе и все гранитоидные, являются продуктами внедрения магмы, происходящей из глубинных очагов, природа которых обычно не обсуждается, так же как не обсуждается и механизм перемещения и завоевания ею пространства, ныне занятого гранитоидным телом. Существуют также гипотезы о метаморфогенном, в частности метасоматическом, происхождении гранитоидных тел и гипотеза образования их в результате последовательного продвижения фронта магмообразования. Ю. А. Кузнецов считает, что эти три гипотезы дополняют друг друга, причем все названные механизмы могут быть реализованы в соответствующих условиях. Им же в числе возможных форм миграции вещества при образовании магматических тел указывается движение магматических масс с образованием собственно интрузивных тел. Причинами движения могут быть «всплывание» легкой магмы, магматическое гидростатическое давление и «кипение» магмы (газообразование). С подобными же причинами соответственно связаны: рост соляных массивов, образование песчаниковых (плывунных) нептунических даек, образование некков грязевых вулканов, «лавы» которых поднимались к поверхности благодаря насыщению их газами.

Вне зависимости от принимаемой генетической концепции и допускаемой формы миграции вещества все магматические тела, сформировавшиеся на глубине и представляющие собой инъективные дислокации, могут быть охарактеризованы как интрузивные (внедренные) в соответствии со смыслом этого термина. В отличие от интрузий осадочных пород (например, соляные «интрузии»), где интрудирует сама готовая горная порода, в случае

интрузивных магматических пород интрудировать (внедряться) может также формирующее ее вещество в расплавленной или растворенной форме. Впрочем, формирование соляных трещинных тел, так называемых «трещинных инъекций», также может быть обязано интрудированию (внедрению) каменной соли в растворенном состоянии.

Формы магматических тел весьма разнообразны. Их систематизация для гранитоидов дана Ю. А. Кузнецовым. Среди главных их типов он, в частности, выделяет:

а) *автохтонные гранитоидные батолиты*, вытянутая форма которых может свидетельствовать о связи с глубинными разломами, образуются на крупных антиклинальных поднятиях в процессе продвижения фронта магмообразования вверх и отчасти в стороны. Состав батолита зависит от состава замещенных пород: так, в песчано-глинистых толщах образуются гранитные тела, в грауваккових — гранодиоритовые, в эффузивно-карбонатных — батолитовые комплексы пестрого состава с широким развитием диоритов, гранодиоритов и сиенитов. В автохтонных телах могут наблюдаться реликтовые слоистые и складчатые структуры, унаследованные от замещенных слоистых толщ. Появляющаяся в больших объемах способная к течению магма, перемещаясь на различные, но главным образом очень небольшие расстояния, образует «собственно интрудированные тела»;

2) *аллохтонные батолиты и другие интрудированные тела,* к которым относятся: а) *куполовидные интрузивы* или *диапир-плутоны*, образующиеся в результате гравитационного всплывания или гидростатического давления относительно легкой гранитной магмы, приуроченные к антиклиналям, сопровождающиеся следами перестройки структуры вмещающих толщ и обладающие конформной внутренней тектоникой; *трещинные и пластовые гранитоидные* (*плутоны отслоения*), образующиеся в результате давления магмы; в) *кольцевые интрузивные комплексы*, связанные с эффузивами, «во многих случаях — это корневые части глубоко размытых вулканических аппаратов».

Кроме того, Ю. А. Кузнецовым к главным типам гранитоидных тел также отнесены:

1) *чарнокитовые мигматиты и анатектиты*, специфичные для докембрийских щитов. Эти интрузивные породы образуют в толщах сланцев гранулитовой фации прослои, линзы, бескорневые неправильные тела, секущие тела без признаков контактового метаморфизма. Образование этих пород связано «с перераспределением вещества внутри метаморфизующейся толщи и выплавлением небольших порций эвтектических расплавов». Они являются «продуктом более или менее чистого плавления в обстановке очень высоких температур и без заметного привноса даже наиболее подвижных компонентов извне» [1966, с. 6];

2) *нормальные мигматиты* и *анатектиты* (амфиболитовой фации) «образуются в динамической обстановке непрекращающихся дифференциальных движений всей массы метаморфизую-

щихся пород, о чем свидетельствуют прекрасно выраженная кристаллизационная сланцеватость с крутым или вертикальным падением, напряженная складчатость, структуры будинажа и т. д.» [1966, с. 7]. Распространение сланцев амфиболитовой фации, в которых возникают мигматиты и анатектиты, имеет линейный характер, связанный с подвижными зонами или глубинными разломами, т. е. зонами высокой проницаемости, что способствует усилению роли инфильтрационного метасоматоза в образовании магматических тел. Нормальные мигматиты и анатектиты образуются «в результате тех же процессов магматического замещения при участии сквозьмагматических растворов, что в автохтонные гранитоидные батолиты». Отличие мигматитовых толщ заключается в «крайне рассеянном характере мелких магматических тел» [1966, с. 7]. Эти образования представляют собой результат переработки горных пород на месте. Однако переработка пород здесь отчетливо сопровождается перемещением вещества одних прослоев в пространстве, занимаемом другими прослоями, и если рассматривать метаморфизованные толщи в деталях, то окажется, что они содержат множество внутренних инъективных дислокаций относительно небольших размеров.

По морфологическому признаку Н. А. Елисеев различает плутоны *конкордантные* и *дискордантные* по отношению контакта к структуре вмещающих пород, *конформные* и *дисконформные* по отношению внутренней структуры плутона к поверхности контакта, *гармоничные* и *дисгармоничные* по отношению внутренней структуры плутона к структуре вмещающих пород. По отношению к вмещающему структурному элементу (или элементам) различают *ядерные плутоны*, целиком располагающиеся в одном геологическом комплексе, *пограничные плутоны*, располагающиеся на границе двух комплексов, *трещинные плутоны, антиклинал-плутоны, синклинал-плутоны, продольные* и *поперечные плутоны.*

*Батолиты*, по Р. О. Дэли,— крупные «сквозные» интрузивные тела площадью более 100 км² (по решению специальной батолитовой комиссии в США батолитами решено называть плутоны диаметром 32 км и более в отличие от штоков, имеющих меньшие размеры). Наиболее крупные батолиты, по Р. О. Дэли,— батолиты Берегового хребта (Британская Колумбия и Аляска) 2000×200 км, батолиты Патагонии — 1100×110 км. Р. О. Дэли дает следующую характеристику батолитам: 1) приуроченность к орогеническим поясам (это может не относиться к раннедокембрийским батолитам), 2) вытянутость параллельно тектоническим осям, 3) образование вскоре после основной складчатости, 4) секущие отношения с местными породами, 5) неправильные куполообразные кровли с выступами и провалами, 6) крутые стенки, 7) относительная ровность стенок, 8) расширение книзу и «бездонность», 9) замещение вмещающей формации во время интрузии, 10) лейкократовый состав, 11) громадный объем с соответствующей продолжительной магматической жизнью, медленное

охлаждение, значительное конечное сжатие и в результате необходимость продолжительного приспособления материала батолита к материалу включающих масс.

Представления Р. О. Дэли о происхождении изверженных пород и, в частности, о батолитах были изложены в его книге «Изверженные породы и их происхождение», изданной в 1914 г. В 1923 г. новое освещение вопроса о происхождении батолитов было дано Г. Клоосом в работе «Проблема батолитов». Он пришел к выводу, что: 1) при формировании батолитов явление ассимиляции имеет второстепенное значение и пространство для батолитов завоевывается активной магмой, раздвигающей боковые породы, 2) батолиты не бездонны, они имеют подошву и представляют собой *псевдодискордантные межформационные лакколиты*. Основа аргументации сводится к следующему. Ксенолиты и глыбы в гранитоидах имеют угловатую форму и лишь очень слабо оплавлены, изменены они лишь термически (ороговикование). Количество ксенолитов при удалении от контакта уменьшается, а степень их изменения остается той же. Состав изверженных пород батолита является выдержанным как в зоне контакта, так и при удалении от него. Из всего этого следует вывод о незначительных масштабах ассимиляции.

Предпосылкой изложенных рассуждений является признание обязательности поступления гранитной магмы в пространство батолита извне (с глубины). Если же в соответствии с современными данными детальных исследований батолитов считаться с возможностью формирования гранитов на месте за счет переработки местных пород, все приведенные факты могут получить иное толкование. Так, например, выдержанность состава пород, слагающих батолит, можно связать с выдержанностью состава местных пород, из которых образован гранит. Ороговикование можно трактовать не как контактное явление, а как процесс предшествующий гранитизации. Ксенолиты и глыбы можно рассматривать не как обломки, попавшие в батолит, а как реликты материнских пород при процессе гранитизации, в большем количестве сохранившихся в зоне, прилегающей к фронту гранитизации, чем в его глубоком тылу.

Р. М. Слободским на Алтае прослежена «прогрессивная стадия формирования» или процесс разрастания батолитов. По ряду признаков, а именно по сходству химического состава гранитоидов и вмещающих пород, отсутствию механических нарушений во вмещающих толщах, реликтовым структурам, местному происхождению ксенолитов, эти массивы сформированы на месте. Окаймляющая их зона ороговикования содержит продукты ранней гидротермальной минерализации, представленные зонально построенными кварцевыми жилами метасоматического происхождения. Эти жилы пересекают ороговикованные породы, пересекаются гранитоидными апофизами и содержатся в виде ксенолитов в гранитоидах. В гранитоидах находятся также ксенолиты роговиков с зональными жилами, резко срезаемыми границами ксено-

литов. В глубь массивов роговики преобразуются в породы псевдодиоритового типа.

Куполообразная форма кровли батолита, рассматриваемая Н. А. Елисеевым как результат активного поведения магмы в пластичном состоянии, может считаться результатом гравитационного всплывания, тела которых обычно соответствуют относительным минимумам силы тяжести.

Правомочен вопрос: могут ли вообще «тела Клооса» рассматриваться как огромные межформационные почти горизонтальные внедрения гранитоидов? Примером образования собственно интрузивных тел гранитоидов служат лакколиты, размеры которых, однако, весьма ограничены (несколько километров в диаметре). Что же мешает лакколитам разрастаться в латеральных направлениях? Неисследованность и изменчивость геологических характеристик магмы, по-видимому, исключает возможность проведения сколько-нибудь достоверных расчетов, но некоторые соображения тем не менее могут быть высказаны. Если магма поступает из питающего канала в жидком состоянии, то ее давление на вмещающие породы будет распределяться по закону Паскаля; это, в свою очередь, означает, что если давление магмы способно преодолеть петростатическое давление, т. е. приподнять вышележащие породы, то оно способно их приподнять на любой площади. Следовательно, жидкая магма может продвигаться в латеральных направлениях (по горизонтальному разделу слоев) на любые расстояния, если ее давление будет поддерживаться на постоянном уровне. Моделью такого продвижения служит явление гидравлического разрыва пластов в нефтепромысловой практике. Ограниченность латеральных размеров лакколита свидетельствует о том, что уже на небольшом расстоянии от питающего канала магма теряет способность продвигаться по латерали, т. е. перестает быть жидкостью, к которой применим закон Паскаля; это может объясняться потерей летучих компонентов, потерей тепла, повышением вязкости и началом кристаллизации. Дальнейшее поступление магмы под давлением создает куполообразную форму лакколита; магма, заполняющая пространство лакколита, начинает вести себя как вязкое твердое тело. Логично думать, что предельные размеры лакколитов функционально связаны с изменением свойств магмы, движущейся в латеральном направлении. Отсюда следует, что существование «тел Клооса» как огромных лакколитов потребовало бы особых усилий для сохранения жидких свойств кислой магмы на больших расстояниях от питающего канала, что само по себе уже представляется сомнительным. Установленное же Клоосом наличие дна у батолитов может быть объяснено не только удаленным послойным межформационным внедрением. Процесс формирования крупных гранитоидных масс может быть связан с определенной средой и с определенными РТ-условиями. В частности, вполне возможно допустить, что гранитизация свойственна только лишь относительно высоким уровням земной коры, ниже которых материнские по-

*роды остаются негранитизированными. В таком случае* горизонтальные или слабонаклонные пластины гранитов будут также подстилаться негранитизированными толщами.

Среди собственно интрузивных тел, связанных с внедрением магмы, важную роль играют дайки и силлы, составляющие, в частности, основу трапповых формаций. *Дайки* — пластообразные тела, пересекающие слоистость или сланцеватость вмещающих пород. Размеры даек лежат в широких пределах. Так, мощность даек изменяется от долей миллиметра до 3—12 км (Великая Дайка Зимбабве). Длина крупных даек достигает десятков километров; длина Великой Дайки исчисляется в 500 км. Различаются *многократные дайки*, образованные путем ряда последовательных инъекций в одну трещину, и *сложные дайки*, образованные инъекциями разного состава.

*Силлы* (интрузивные залежи) — покровообразные тела, инъецированные между слоями. По данным Р. О. Дэли, мощность силлов варьирует от микроскопических размеров до 600 м и более; протяженность залежей на выходах достигает 160 км (триасовая залежь в Нью-Джерси), а площадь распространения — до 13 000 км² (*залежь у Хоптауна*). *Интрузивные залежи часто* располагаются сериями; например, в одном обнажении докембрийской толщи в Британской Колумбии Р. О. Дэли на протяжении 800 м разреза насчитал более 100 силлов. Большая протяженность силлов и ограниченные латеральные размеры лакколитов связаны с составом образующих их магм. Основные магмы, формирующие силлы, обладают значительно большей подвижностью, чем кислые магмы лакколитов. Силлы, как и другие инъективные тела, могут подвергаться дизъюнктивным и пликативным дислокациям (рис. 11).

Комбинации силлов и даек образуют *коленчатые дайки,* весьма широко распространенные в трапповых формациях. Вмещающие слои на контактах с дайкой или иным инъективным телом часто образуют разрывы и изгибы, в которые могут быть вовлечены и сами инъективные тела. С системами вертикальных и горизонтальных трещин могут быть также связаны *камерные инъекционные тела.*

Трапповые тела приурочиваются к глинистым разностям пород по причине их тонкой слоистости и малой прочности на разрыв, *особенно вдоль плоскостей напластования.* Путем *сопоставления* разрезов скважин устанавливается, что силлы раздвигают пласты. Например, по Н. В. Мельникову, тело долеритов, встреченное на Сухо-Тунгусской площади и имеющее мощность 48 м, раздвинуло осадочные породы на 41—42 м, причем исчезнувшие из разреза 6—7 м глинистых известняков были инъецированы или отторгнуты и в качестве ксенолитов перемещены на другое место. Образование силлов связано с общим расширением. Так, механизм заполнения магматическим материалом систем нормальных и пластовых трещин с образованием силлов и даек был показан В. А. Магницким и автором на примере Донбасса сле-

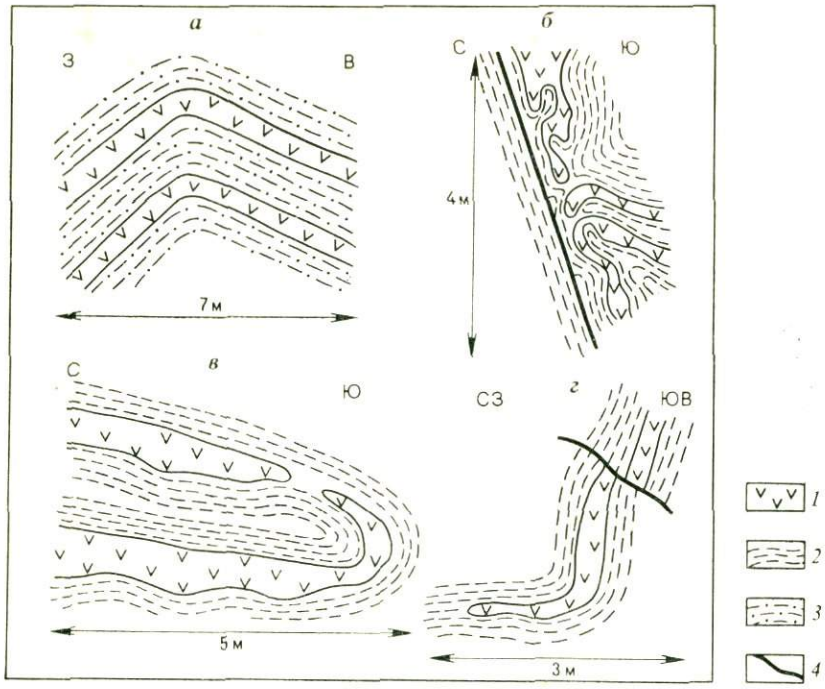



Рис. 11. Совместные дислокации силлов щелочных базитов и вмещающих кайнозойских осадочных образований Сахалина (пример вторичных пликативных и дизъюнктивных дислокаций инъективных тел—силлы). По Д. Ф. Семенову (1986 г.)

*1* — эссексиды и трахидолериты; *2* — аргиллиты; *3* — алевролиты; *4* — разломы. а — р. Каменка, б — мыс Баранова, в и г — мыс Перевальный

дующим образом. Донбасс рассматривается как глубокий (не менее 10 км) прогиб, полностью компенсировавшийся осадками в каменноугольном периоде. При прогибании до хорды земной поверхности (максимальная глубина до хорды определена для центральной части Донбасса в 450 м) каменноугольные отложения подвергались сжатию и короблению, поскольку прогиб постоянно компенсировался осадками, а площади, занимаемые образующимися на поверхности слоями, по мере приближения к хорде должны были соприкасаться. При прогибании ниже хорды в «угленосном массиве» наступило растяжение и повышалась его проницаемость.

Свидетельством повышения проницаемости и наличия трещин растяжения являются магматические проявления, распространенные не выше среднего карбона, и связанное с ними оруденение. Отсутствие в угленосном массиве и вышележащих слоях прослоев вулканогенных пород говорит о том, что магматические проявления, как правило, не достигали поверхности; это хорошо

согласуется с наличием надхордового сжимавшегося слоя. Слои нижнего и среднего карбона содержат секущие дайки и пластовые залежи изверженных пород, констатированных в ряде пунктов в южной и центральной (Главный антиклинал) частях прогиба Донбасса, т. е. именно там, где должно было проявиться в связи с его асимметрией максимальное растяжение и в освобождение необходимого пространства.

Проникновение магмы происходило в условиях общего вертикального и горизонтального растяжения осадочной толщи. Так, исследователь Донбасса Б. Ф. Мефферт, описывая интрузии в раннем и среднем карбоне на р. Крынке, отмечал, что дайки мончикитовых излияний исключительно следуют направлениям весьма развитой системы диаклазов, выполняя трещины кливажа и напластования слоев. Этому подчиняются и все мелкие и побочные апофизы этих даек. Только в немногих случаях напор магмы обусловливает неправильные прорывы среди слоев песчаников и известняков. Внедрение магмы по диаклазам обусловливает правильный, почти геометрический контур этих жильных инъекций и при комбинации трещин кливажа и напластования зигзагообразный вид многих из них. Очевидно, жидкая основная магма действием магматического напора быстро вгонялась по уже существовавшим трещинам кливажа и пластового расщепления. Большая мощность пластовых инъекций, достигающая в отдельных случаях 130 м (р. Малый Несветай) и даже 200 м (р. Аюта), свидетельствует о значительных размерах растяжения угленосной толщи.

Единство систем трещиноватости указывает, что изверженные и вмещающие породы одинаково реагировали на условия общего сжатия; следовательно, к началу складкообразования система пластовых и секущих жил, заполненных затвердевшими изверженными породами, уже существовала.

Образование коленчатых даек, камерных инъекционных тел и «раздвигание» слоев телами силлов — все это свидетельствует об условиях общего растяжения толщ, выполняющих Тунгусскую синеклизу, во время внедрения траппов. Сказанное подтверждается приуроченностью трапповых интрузий к криволинейным, часто очень коротким и кулисно расположенным трещинам растяжения, образующим концентрические системы в синклинальных понижениях. Здесь мульды сплошь насыщены траппами, а смежные положительные структуры лишены или почти лишены их (А. С. Кириллов). Трещины растяжения, очевидно, образовывались одновременно с прогибанием и образованием синклинальных форм Тунгусской синеклизы в целом и меньших форм, таких как Норильская мульда.

Выводы о механизме внедрения траппов и силлов, сделанные на примере Донбасса и подтвержденные наблюдениями в Тунгусской синеклизе, могут быть обобщены в том смысле, что в процессе прогибания могут наступать условия значительного растяжения осадочных толщ, которое, с одной стороны, может компен-

сироваться их утонениями и разрывами и связанным с этим более интенсивным прогибанием вышележащих слоев, но, с другой стороны, в условиях проницаемости земной коры может компенсироваться внедрением магматического материала по трещинам растяжения или трещинам скола, стенки которых раздвигаются в процессе общего растяжения (пластовые трещины, *раздвиги* или *трещины раздвигания*). На примере Донбасса устанавливается, что такой процесс может происходить в прогибе именно до складчатости. Поступление магматического материала компенсирует растяжение осадочных толщ и замедляет прогибание вышележащих слоев, которые при отсутствии притока магмы компенсировало бы это растяжение. Таким образом, в данном случае внедрением магмы с образованием систем даек и силлов осуществляется подземное компенсирование прогибания.

Когда речь идет о *компенсировании прогибания* (компенсированные и некомпенсированные прогибы), то обычно имеется в виду компенсирование прогибаний за счет осадконакопления. Однако следует различать еще, по крайней мере, два вида компенсирования: во-первых, компенсирование прогибания за счет выноса магматического (вулканогенного) материала из недр и заполнения им с поверхности образующейся впадины; во-вторых, компенсирование прогибания за счет подъема магматического материала и заполнения им подземных камер, возникающих в процессе прогибания и растяжения осадочных толщ (*глубинное компенсирование*).

Компенсированию первого типа предшествует образование компенсационных *вулкано-тектонических депрессий*, подобных синклинальным вдавленностям в районах грязевого вулканизма. Такие депрессии овальной или кольцевой формы диаметром 20—60 км или амплитудой опускания в первые сотни метров известны на Камчатке. Депрессии ограничены дугообразными разломами с амплитудой опускания до 500—700 м и более. В пределах депрессий располагаются вулканы. Указывается на наличие аналогичных образований в Новой Зеландии. Вулкано-тектонические депрессии устанавливаются и для прошлых геологических эпох, включая докембрий.

Компенсированию второго типа может отвечать не только механизм образования систем (решеток) силлов и даек, но и механизм образования таких крупных интрузивов, как *лополиты*, которые представляют собой блюдцеобразные пластовые тела, заполняющие тектонические депрессии. Протяженность лополитов составляет десятки километров при мощности несколько километров. Бушвельдский лополит занимает площадь 400×240 км; мощность лополита Дулут в Миннесоте достигает 16 км, а лополита Сёдбери в Онтарио — 32 км. Таковы размеры интрузивных тел, по-видимому, компенсирующих некоторые прогибы. Бушвельдский лополит представляет собой особый случай подземного компенсирования в комбинации с наземными. Огромное магматическое тело, как свидетельствует Р. О. Дэли (1936 г.), не

имело сплошной кровли, кроме собственной охлажденной фазы и в этом смысле является эффузивным. Однако громадная норитовая часть его, интрудировавшая в несколько более древнюю эффузивную часть, вполне представляет собой лополит. Интрузия, по-видимому, сопровождалась и облегчалась опусканием дна, причем дно максимально оседало в центральной части.

К пластовым интрузивным телам относятся также лакколиты и факолиты, которые, подобно силлам, обладают линзовидной формой, т. е. к краям выклиниваются.

*Лакколиты* обладают плоско-выпуклой или двояковыпуклой формой; над лакколитом слои вмещающих пород куполообразно приподняты, между лакколитами и силлами существуют любые переходные формы. Лакколит, как правило, следует поверхностям напластования, но иногда и сечет их. Лакколиты, располагающиеся вдоль поверхности несогласия, называются *межформационными лакколитами*, а лакколиты достигшие поверхности через отверстия, имеющие гораздо большую ширину, чем отверстия обычной дайки или вулканического жерла, называют *эруптивными лакколитами*. Размеры лакколитов не превышают нескольких километров в диаметре, что, как уже отмечалось, связано с их составом. Р. М. Слободской по весу и прочности вышележащих осадочных толщ рассчитал давление, которое оказывали на них минераловодские лакколиты в процессе внедрения. Оно варьировало в пределах $0{,}98—1{,}36 \cdot 10$ Па.

К секущим интрузивным телам, кроме рассмотренных выше даек, относятся также факолиты, бисмалиты, этмолиты, акмолиты, гарполиты, хонолиты, различаемые по форме и соотношениям с вмещающими слоистыми толщами.

Особо выделяется группа инъективных дислокаций, образованных телами эффузивных пород и разнообразных минерализованных брекчий. Прежде всего это дайки и некки, заполненные вулканическим материалом. На Урале во многих пунктах известны древние вулканические жерловины размером до 400 м в поперечнике и дайки протяженностью до 10 км при ширине 200—250 м. Те и другие выполнены лавовым материалом или эруптивными брекчиями. В девонских отложениях Минусинской котловины встречены вулканические жерловины размерами от $350 \times 300$ до $800 \times 500$ м.

Особой формой инъективной дислокации являются *трубки взрыва*, выполненные брекчиями, образованными в результате прорыва газа. Трубки взрыва приурочены к куполовидным выступам интрузивных массивов, к апикальным частям неправильных штоков и трубообразных гипабиссальных тел, а также к кольцевым малым интрузивам или же связаны с разломами, в частности с изгибами, пересечениями и сопряжениями разрывных нарушений. Кимберлитовые трубки Сибирской платформы располагаются преимущественно вдоль разломов и на их пересечениях. Трубки обладают округлой, а чаще неправильной формой и имеют различные размеры в плане. Тела ряда трубок возникли

в результате многофазного процесса. Включения обломков в кимберлитовых брекчиях многочисленны и разнообразны — обломки боковых и даже вышележащих пород (известняки верхнего силура, которые в этом районе уже уничтожены размывом), а также обломки глубинных пород.

Кроме алмазоносных кимберлитовых трубок, в которых главную роль играют породы ультраосновного состава, на Сибирской платформе широко распространены трубки взрыва базальтоидного состава, содержащие обломки боковых пород (платформенного чехла) и тесно связанные в пространственном и генетическом отношениях с траповой формацией. Для этих трубок характерно магнетитовое оруденение. Поперечник трубок составляет 250—450 м, реже 1 км; на глубинах 500—800 м трубки резко сужаются и имеют, таким образом, воронкообразную форму (по Н. В. Павлову).

Близкими к трубкам взрыва являются разнообразные *эксплозивные интрузивные тела*. В Эльбрусской вулканической области А. М. Борукаевым и Ю. П. Масуренковым они описаны как интрузии туфов, в которых интрузивные соотношения с вмещающими осадочными и вулканогенными породами сочетаются с пирокластической (туфовой) природой интрудирующего материала. Эти интрузивные тела состоят из открытых каналов и жерл, а также «слепых» образований, имеющих форму даек, силлов и жерл. Мощность интрузивных тел достигает 700 м, площади силлов — до нескольких квадратных километров.

Важное обобщение по инъективным дислокациям рассматриваемого типа принадлежит П. Ф. Иванкину (1965 г.). Им главное внимание уделяется так называемым *закрытым эксплозиям*, представленным залежами брекчий дайкообразной, трубообразной, конической и неправильной формы. Многие залежи брекчий тесно связаны с деятельностью гипабиссальных интрузий и располагаются апикально по отношению к интрузиям. Часто тела брекчий являются закрытыми и выклиниваются по восстанию.

Описанные А. Л. Книппером (1955 г.) гипербазитовые (серпентинитовые) *протрузии* (холодные интрузии) представляют собой по существу разновидность диапировых ядер. Серпентинитовые протрузии также образуют ядра антиклиналей, на которых отдельные члены осадочных толщ, слагающих крылья, оказываются выжатыми. Серпентинитовые ядра обладают сложным строением, детали которого устанавливаются по залеганию дунитовых тел внутри ядра. В ядрах наблюдаются многочисленные зеркала скольжения, рассланцевание и будинирование, свидетельствующие о консолидированном состоянии внедрявшегося ультрабазитового материала. Полное отсутствие следов горячих контактов во вмещающих породах говорит о низкой температуре внедрения гипербазитов. Возможность внедрения холодных гипербазитовых протрузий была подтверждена экспериментами (И. В. Лучицкий). Однако протрузии могут быть объяснены и разбуханием пород.

## Нептунические (кластические) дайки

*Нептунические дайки* могут быть связаны с «гидровулканическими» извержениями, но могут образовываться в результате заполнения зияющих полостей трещин осадочным материалом, поступающим сверху с поверхности Земли или дна водоема, или же заполнения полостей трещин разжиженной или высокопластичной осадочной породой, которая при этом может полностью утратить следы своей первоначальной внутренней слоистой структуры.

В. В. Бронгулеев назвал такие дайки амагматическими инъекциями. Р. Г. Гарецкий предложил называть эти дайки *кластическими* с подразделением на *инъекционный тип* (внедрение кластического материала из нижележащих толщ) и *нептунический тип* (заполнение сверху). Дайки могут быть сложены как обломочным (кластическим), так и глинистым и даже карбонатным материалом.

Нептунические дайки в принимаемом здесь смысле могут быть классифицированы по вещественному составу (песчаниковые, глинистые, железистые, карбонатные и т. д.), внутренней структуре (флюидная, брекчиевая и т. д.), происхождению (за счет выдавливания горной породы в виде пластической массы или брекчии, за счет гидравлической подачи глинистого или песчанистого материала с водой снизу, за счет заполнения с поверхности Земли).

К дайкам, образовавшимся вследствие заполнения полостей трещин сверху, относятся дайки района Вольска (Поволжье), пересекающие нижнесызранские опоки и содержащие обильную раннесаратовскую фауну, чем устанавливается проникновение материала сверху, дайки Чушкакульской антиклинали на южном погружении Урала, обязанные проникновению сверху песчаного материала саксаульской свиты эоцена, дайки в палеоцене Южного Урала, дайки, пересекающие сарматские массивные рифогенные известняки Молдавии, образованные рыхлым органогенным известняком с многочисленной фауной среднего сармата, принадлежащей к более высокому стратиграфическому горизонту, чем вмещающая порода.

Широко известны также дайки, обязанные выдавливанию или гидравлической подаче материала снизу. Так, в Ульяновской области отчетливо наблюдаются следы механического выдавливания поступающего снизу материала. Они выражаются в некотором задирании вверх примыкающих к дайке слоев, подобно тому, как это происходит по краям диапирового ядра. В нарушенных сбросами куполах Туркмении широко распространены дайки асфальтированных песков, обязанные внедрению снизу песков нефтеносных толщ, по-видимому, за счет активности (давление, наличие газа) нефтяных залежей (гидравлический или газовый механизм). Широко известны инъекции (дайки) кластических пород в полости трещин в складчатых районах. Появление таких даек,

очевидно, обязано тектоническим напряжениям в процессе образования складок.

В сакмарской зоне Южного Урала описаны инъецированные кластические тела двух типов — дайки и пластовые тела силлов. Дайки имеют ширину 0,4—8 м и прослеживаются на расстоянии до 30 м, они ограничены ровными плоскостями иногда с зеркалами скольжения. Пластовые тела имеют длину 25—70 м, ширину 2—25 м; их оперяют мелкие дайки. Дайки подобны разрушенным стенам высотой 1—5 м, выступающим над поверхностью Земли, так как породы, слагающие их, очень крепкие; они напоминают микрокристаллические кислые изверженные породы, однако микроскопическое изучение показывает, что дайки сложены альбитизированным обломочным материалом. Дайки могли возникнуть за счет местного пирокластического материала, заполнявшего сейсмотектонические трещины; выделяются дайки с неперемещенным и с перемещенным (инъецированным) материалом. Некоторые дайки, наблюдаемые в метаморфических комплексах и описываемые как дайки изверженных пород, могут представлять собой метаморфизованные нептунические дайки.

Наблюдения над нептуническими дайками позволяют судить о горизонтальных перемещениях на платформах. Системы вертикальных трещин на платформах с наибольшей вероятностью могут быть объяснены горизонтальным перекашиванием земной коры, которое является столь же универсальным, как и распространение системы трещиноватости в горизонтально залегающих толщах. Нептунические дайки в районе их распространения образуют «вертикальную структурную решетку» осадочной толщи. Наблюдения над деформациями этой решетки позволяют судить о горизонтальном перемещении материала, так же как наблюдения над деформацией слоев, составляющих «горизонтальную структурную решетку»,— о вертикальных его перемещениях. Так, известны случаи, когда нептунические дайки в нескольких местах срезаны по слоистости, причем их отрезки перемещены относительно друг друга в горизонтальном направлении. Это может быть объяснено как геодинамической расслоенностью, так и самостоятельностью связанных с нептуническими «силлами» даек в отдельных слоях.

Можно провести параллели между нептуническими и магматическими (плутоническими) дайками. Так, интрузивные дайки трапповых формаций соответствуют нептуническим дайкам, которые Р. Г. Гарецкий относит к инъекционному типу. Механизм образования кольцевых даек близок к механизму образования даек, связанному с гидровулканизмом. Силлы трапповых формаций имеют большое количество хорошо выраженных аналогов среди осадочных инъекционных образований. В какой-то мере им могут отвечать кластические силлоподобные тела, связанные с внедрением вещества вдоль пластовых трещин.

Механизм внедрения силлов можно уподобить механизму гидроразрыва пластов, широко применяемому при разработке нефтя-

ных месторождений в целях повышения отдачи скважин. Гидроразрыв осуществляется разрастающимся от скважины водным клином благодаря резкой концентрации растягивающих напряжений на конце клина.

Выделяется группа дислокаций, связанных с заполнением жидким или высокопластичным материалом осадочного происхождения полостей трещин, жерл и других каналов в осадочной оболочке. Образование мощных сложенных осадочными брекчиями некков диаметром в несколько десятков метров (например, пик Карабурун на Боядаге в Туркмении) связано с действием *грязевого* или *газового вулканизма*. Ископаемые «нефтевулканические некки» в низах продуктивной толщи (средний плиоцен) Апшеронского полуострова расположены цепочками вдоль разломов. По В. А. Горину и Г. М. Гадиевой, они представляют собой почти вертикальные тела круглого или эллипсовидного сечения, сложенные брекчией, пропитанной окисленной нефтью. Диаметр некков 2—3 м, местами они образуют группы, сливающиеся в один большой некк.

Близким к грязевому вулканизму представляется описанное П. П. Иванчуком явление *гидровулканизма* и гидротектоники, заключающееся в выносе на поверхность разжиженного кластического материала нижележащих толщ напорными водами через полости трещин и каналы. Проявление гидровулканизма отмечено на Зеагли-Дарвазинском поднятии в Каракумах. В качестве проявлений гидровулканизма рассматриваются распространенные здесь кластические дайки.

## Опыт классификации

Главными в инъективной тектонике являются магматические дислокации как по своему распространению, многообразию, участию в развитии структуры земной коры, так и по своей связи с глубинными процессами планеты, для реконструкции которых магматические инъективные дислокации имеют исключительно важное значение. Для изучения магматических инъективных дислокаций следует выделить специальную отрасль тектоники — *магматическую тектонику* — науку о магматических телах, их форме, составе, взаимоотношениях с окружающими породами и генезисе. Ее основными методами должны быть структурно-геологические, минералого-петрографические (петрологические, геохимические) и геофизические.

Для дальнейшего развития исследований инъективной тектоники имеет большое значение также создание классификации инъективных тел. Этому вопросу в 1972—1974 гг. много внимания уделял А. В. Тарасов. Приведем его соображения с некоторыми коррективами и с акцентом на магматические инъективные дислокации.

Классификации являются важнейшей вехой в исследовании природы (в частности, в геологических исследованиях) — они

позволяют выделять классы объектов (явлений), устанавливать между ними границы и иные соотношения, создают возможность для сравнительного анализа и далее для эмпирических обобщений и теоретических выводов.

А. В. Тарасов предлагает ряд структурно-вещественных и генетических классификаций инъективных тел (ИТ). Отметим, что основой структурно-вещественных классификаций могут вполне служить приведенные в главе «Вопросы методологии» правила описания геологических тел. По размерам А. В. Тарасов выделяет *микроскопические* и *макроскопические* ИТ, не определяя, впрочем, границы между ними. Принимая предложенную нами систему оценки размеров геологических тел по порядкам объемов и площадей с принятием эталонов и правил, А. В. Тарасов дает также систему порядков для линейных размеров (мощности, радиусы). Он предлагает разделять инъективные тела на порядки по линейным размерам в метрах: I — $10^5$—$10^4$ м, II — $10^4$—$10^3$ м, III — $10^3$—$10^2$ м, IV — $10^2$—10 м, V — 10—$10^{-1}$ м, VI — $10^{-1}$—$10^2$ м и т. д.

В линейных размерах магматических тел особенно важна их вертикальная мощность, что связано с глубинами корней или с бескорневыми телами, сливающимися с такими глубинными образованиями, как вулканические очаги, астеносфера, мантия. Для какой-либо оценки бескорневых магматических ИТ по размерам, структуре и составу необходимо эти тела выделять как произвольные, связанные с некоторым произвольным уровнем глубины. Иначе невозможно сравнение таких тел. Классификация тел по форме ограничивается выделением симметричных относительно некоторой оси и несимметричных, а также *простых* и *сложных*. Классификация ИТ на *пологие* (0—45°) и *крутопадающие* (45—90°) с более дробными подразделениями основана не на форме, а на ориентировке в пространстве.

Далее А. В. Тарасов выделяет классы ИТ по соотношению с вмещающими породами — *согласные* и *несогласные* тела. Критерием здесь является параллельность границ согласных тел к слоистости вмещающих пород.

По составу инъективных тел А. В. Тарасов выделяет *силикатные* (с подклассами тел, сложенных кристаллическими и обломочными породами, а также глинистые, аргиллитовые тела) и *несиликатные* (соляные, гипсовые, карбонатные), а именно тела, связанные с течением карбонатных толщ, жилы, дайки и внедрения карбонатитов, карбонатные жилы. Кроме этого обособляются рудные скопления; в угленосных районах выделяются *угольные* инъективные тела, связанные с выдавливанием углей по разломам и другим каналам; и, наконец, сюда же относятся *углеводородные тела* (асфальтитовые, озокеритовые, гильсонитовые жилы и т. д.).

Заметим, что если состав угольных, соляных, гипсовых, углеводородных, глинистых и других ИТ в большом числе случаев достаточно описывать в среднем, то для описания магматических

и рудных ИТ этого явно недостаточно. Здесь необходимы описания по дискретным точкам, функциональные или статистические. Иными словами, главным является не средний состав, а изменение состава по пространству тела и закономерности этих изменений. Следует обратить внимание на вертикальные (гравитационные) изменения, зональные, приконтактные и т. д. Важно описывать не только содержание какого-либо компонента, но и зависимость его от содержания других компонентов и от положения точки опробования в теле.

Соответственно к классификации тел по составу должна быть добавлена классификация магматических и рудных тел по структуре. В такой классификации должны быть отражены гравитационная слоистая структура плутонов с учетом ее деформаций, слоистая или более сложная структура жил, связанная с последовательным зональным их формированием, пересечение магматических тел разломами, жилами, дайками, некками, слоистые структуры течения и т. д.

---

Инъективные дислокации по своему распространению в гипергенной оболочке представляют собой не столь универсальное явление, как пликативные и дизъюнктивные дислокации, поскольку они неповсеместны и проявлялись только лишь временами. Вместе с тем инъективные дислокации связаны с наиболее активной формой перемещения вещества в слоистой структуре, включающей его подъем из глубоких зон гипергенной оболочки, земной коры и мантии к поверхности Земли и образование всех видов магматических тел. Инъективные дислокации, связанные с перемещением осадочного материала (диапиры, соляные массивы, нептунические дайки), хотя и определяли особенности строения отдельных крупных районов (например, солянокупольные области), имели несравненно меньшее значение в развитии структуры гипергенной оболочки в целом, чем инъективные магматические дислокации.

Отношение инъективных дислокаций, которые охватывали большие глубины Земли и, соответственно, большие площади на ее поверхности, к различным слоистым структурам Земли весьма специфично. Так, пликативные дислокации осложняют только слоистую структуру гипергенной оболочки, дизъюнктивные дислокации заключаются во взаимных перемещениях по разломам отдельных участков как слоистых структур гипергенной оболочки, так и гипогенной слоистой структуры (см. рис. 11). Инъективные дислокации заключаются не только в перемещениях вещества внутри слоистой структуры гипергенной оболочки, но также и в перемещениях вещества внутри гипогенной слоистой структуры, например в перемещениях вещества мантии в пространство земной коры или перемещениях вещества «базальтового» слоя в пространство «гранитного слоя». Хотя нижние пределы распространения гипергенной оболочки нам не известны, но можно пола-

гать, что корни очень многих инъективных магматических дислокаций лежат ниже ее подошвы. В таком случае инъективные дислокации могут рассматриваться как механизм разрастания гипергенной оболочки, ведущей к увеличению ее объема и веса за счет привноса в нее глубинного материала.

## КОЛЬЦЕВЫЕ СТРУКТУРЫ

Кольцевые структуры малого диаметра известны давно. Это некоторые «прорванные» соляные штоки, приобретающие при движении каменной соли вверх округлую наиболее экономичную в энергетическом отношении форму, небольшие тектоно-магматические округлые концентрические системы (например, Ингилийская и другие на Алданском щите), метеоритные кратеры, впадины северо-востока Сибирской платформы и т. д.

*Кольцевые дайки* имеют в плане кольцеобразную или дугообразную форму. Они связаны с оседаниями над магматическими очагами конической формы блоков, по периферии которых выжимается магма по трещинам. Концентрические системы кольцевых даек, наклоненных к центру, называют *интрузивными коническими слоями*, а точки их схождения — *фокусами интрузивных конических слоев*.

В связи с дешифрированием космических снимков и другими данными стали описываться более крупные кольца радиусом до 100—350 км, вырисовывающиеся на аэрофотоснимках в виде узких темных или светлых относительно фона полос. Эти полосы прослеживаются по особенностям рельефа, не группирующимся в кольца на обычных гипсометрических и гидрографических картах и даже аэрофотоснимках, распределением растительности и микрогидрографических сетей, возможно цветом почвы или цветом новейших осадков, связанных с рельефом. С геологией коренных пород эти кольца не имеют сколько-нибудь уверенной связи; можно думать, что если бы такая связь существовала, то была бы давно обнаружена геологическими и геофизическими съемками. Уже составлен и издан ряд карт (по юго-востоку Сибирской платформы и сопредельных территорий, составленная М. З. Глуховским, в 1978 г.; по зоне сочленения Верхоянско-Чукотской и Корякско-Камчатской области Северо-Востока СССР, составленная Н. И. Филатовой и др. в 1980 г., и ряд других) и опубликован ряд схем, сделаны попытки связать их с расположением складчатых поясов, разломов, магматических тел, рудопроявлений и геофизических аномалий. Такого рода привязки представляются пока крайне натянутыми, в чем можно убедиться, например, при изучении схем сопоставлений, приведенных в работах М. З. Глуховского.

Я позволю себе привести пример, весьма сходный в моем представлении с создавшейся ситуацией с геологической привязкой колец, построенных по ТВК (телевизионным космическим снимкам). В 1934 г. В. А. Соколов предложил для прямых поисков

нефтяных и газовых месторождений метод газовой съемки. Идея заключалась в том, что нефтяные и газовые залежи должны создавать поток углеводородов на поверхности Земли, находящий выражение в аномально высоком их содержании в почвенном воздухе над месторождениями. Работы были развернуты достаточно широко вплоть до создания специализированной организации. Однако газовые аномалии никак в своем расположении не подчинялись залежам. Причины стали искать в несовершенстве методов отбора и анализа почвенного воздуха, а затем в сложности формирования аномалий в зависимости от тектонической обстановки над залежами. Затем появилась идея «галоэффекта», в соответствии с которым аномалии образовывались не над залежами, а располагались кольцами вокруг них. Поиски таких колец с привлечением всего арсенала статистики (ЭВМ тогда не было) приводили к фантастическим обобщениям аномалий при стремлении собрать их в кольцо. Коллективы геологов работали над этой проблемой около десяти лет, пока окончательно не выяснилось, что газовые аномалии обязаны деятельности почвенных бактерий и никакого отношения к залежам нефти и газа не имеют. Поле газовых аномалий было примерно одинаково в районе тогда еще не застроенных Ленинских гор в Москве и на Апшеронском полуострове, где тогда производилась основная добыча нефти страны. Так вот, опыт нахождения «галоэффектов» очень напоминает привязку геологических и геофизических объектов к крупным кольцам.

Однако существование на поверхности Земли таких часто не вполне ясно выраженных колец является фактом и во всяком случае признается большим числом исследователей, имевших дело с ТВК снимками. С чем же связано происхождение этих колец? Поскольку кольца не связаны с коренной геологической структурой, то возникновение их следует отнести к современной эпохе; иными словами, они не являются результатом длительных геологических процессов, а связаны только с современными процессами. У нас нет никаких оснований считать кольца прерогативой нашего времени; наоборот, мы должны считать (по методу актуализма), что подобные кольца существовали и в ранние эпохи, но не там, где сейчас, так как устойчивое расположение таких колец на протяжении значительных интервалов геологического времени привело бы к созданию устойчивых геологических структур, распространявшихся на длительно формирующиеся толщи горных пород. Если все это так, то крупные кольца можно считать эфемерными (в масштабе геологического времени) образованиями, отражающими поведение высокопластичных масс в глубинных недрах Земли. Диаметры колец могут предположительно коррелироваться с глубинами, охваченными этим процессом. Это, конечно, только гипотеза, но если она будет подтверждена (т. е., точнее, если будет повышена вероятность этого предположения), то мы сможем судить о реологическом состоянии глубинных недр на разных уровнях и в различных регионах.

Конечно, это одно из возможных суждений. Заслуживают внимания соображения М. З. Глуховского, который указывает, что кольца плохо коррелируются со структурами чехла, но значительно лучше со структурой древних комплексов. Он полагает, что они связаны с активными зонами катархея и гипербазитовой «протокоры». В таком случае кольца можно рассматривать как следы продолжающейся активности таких зон и их колебательных движений, быстро сменявших знак и не отразившихся в структуре чехла.

Без связи с космическими снимками кольцевые структуры выделяются в раннем докембрии Украины, Зимбабве и Восточной Африки размерами соответственно 400—450 км, 800—650 км и 1600—1400 км. В таких *«тектоноконцентрах»* (по А. В. Гинтову) выделяются *стабильные ядра* и *мобильные кольца*. В кольцах выступают древнейшие из известных на Земле гранулитовые комплексы и развиваются кольцевые системы грабенов, заполненных осадочным и вулканогенным материалом, а также разломы с интрузиями и вулканизмом. Древнейшими в кольцах являются гиперстен-плагиоклазовые сланцы и гнейсы возрастом 3,5—4,5 млрд. лет. В стабильных ядрах развиты гранитные купола и архейские вулканогенные основные породы, метаморфизованные в зеленосланцевой и амфиболитовой фациях. Кольцевое обрамление было мобильно, как пишет А. В. Гинтов, на протяжении всего докембрия, а нередко и фанерозоя.

Таким образом, мы уже имеем две версии происхождения кольцевых структур. Могут быть и другие. Не обязательно какая-либо из них должна иметь исключительное значение. Кольцевые структуры Земли во всем их многообразии и многочисленности могут быть весьма гетерогенны.

# ГЛАВА III
# ТЕКТОНИКА КОНТИНЕНТОВ И ОКЕАНОВ

Геология континентов изучается на протяжении двух столетий, геология океанов — несколько десятилетий. Временные пределы Малого геологического континуума в океанах более чем на порядок меньше, чем на континентах. История геологического развития континентов исследована в соответствии с этим значительно полнее, чем для океанического дна. Однако континенты занимают только 30 % поверхности Земли, и поэтому геологические данные о строении огромных пространств океанов и основанные на этих данных концепции показали, что континенты по малости своей не могут дать полного представления о геологическом строении Земли в глобальных масштабах. Огромные подводные плато базальтов и весьма протяженные системы срединноокеанических хребтов и грабенов не вписываются в привычные рамки тектоники континентов. 25—30 лет назад возникла своеобразная конфронтация в геологических взглядах. Длительный опыт исследования геологии континентов, их весьма информативные геологические карты, обобщающие огромный эмпирический материал, и развитие на этой основе теории геосинклиналей, точнее, теории тектонической эволюции континентов, позволили одним геологам, опираясь на эти фундаментальные основы, считать, что океаны являются лишь продолжением континентов и все «континентальные» закономерности могут быть на них распространены; другим исследователям, опирающимся на весьма впечатляющие феномены тектоники океанического дна, считать, что концепция глобальной тектоники должна основываться только на этих феноменах; «континентальные» же обобщения безнадежно устарели и оказались несущественными для формирования глобальных тектонических концепций.

На стороне «континенталистов» были огромные глубины проникновения в геологическое прошлое, мощности изученных толщ и длительный опыт работ, на стороне «океанистов» — значительно большие пространства и принципиально новые факты, неизвестные ранее на континентах. В настоящее время грани противостояния стираются — на континентах и в их различных историко-геологических срезах обнаруживаются океанические феномены, а в океанах — свойственные континентам вещества, тектонические формы и их структурные соотношения. Тектоническая теория в результате этого процесса, сопровождавшегося сравнительным анализом и горячими дискуссиями, несомненно обогащается — устанавливается единство глобальной тектоники при всем ее многообразии. И хотя с периодом противостояния были связаны многие негативные явления («максимализм», нетерпимость, пере-

оценка собственного научного багажа и идей), в целом этот период был полезен и необходим для развития обеих групп идей в их собственной скорлупе и вызревания их, таким образом, для плодотворного и перспективного объединения.

---

В основе выделения тектонических форм и сооружений разного ранга лежит вещество. Вещество в тектонике обычно рассматривается в горнопородной специализации, данные же о других свойствах вещества обычно интерпретируются на языке этой специализации и в структурных построениях используются в таком преобразованном виде. Все тектонические формы и структуры рассматриваются применительно к горнопородным телам, группирующимся в иерархические ряды. Иерархия в тектонике не разработана в такой степени, как в стратиграфии. Там она является главным объектом внимания ученых, так как без хорошо разработанной иерархии не существовало бы самой стратиграфии. Тектоническая иерархия начинается с однопородного геологического тела (слой, линза, шток, массив и т. д.), которое может рассматриваться как простое по обобщенным характеристикам (например, рифовый массив) или как сложное при более детальном исследовании его, позволяющем установить в нем границы и структурные элементы. Таким образом, однопородное тело может и не являться самым низшим элементом иерархии тел, а само может быть построено иерархично; все дело в детальности и специализации исследования. Более высокими рангами геологических тел являются свиты, толщи, серии, комплексы, эврилитемы, подсерии, ступени и т. д.; все они по-разному называются в автономных иерархических системах. Общепринятой системы иерархии геологических тел пока нет. Важную роль играют автономные иерархии, используемые для решения региональных задач. Образование формаций охватывает значительные интервалы геологического времени. Это позволяет на основании изучения формаций и их рядов реконструировать геологическую историю для таких крупных регионов на континентах, как платформенные области, геосинклинальные системы, краевые прогибы и т. д.

Основы учения о формациях заложены Н. С. Шатским в 40-х и 50-х годах нашего столетия. Однако разработка этого учения еще далека от завершения. Роль крупных вещественных комплексов исключительно важна для всех тектонических построений и ретроспективных реконструкций в масштабах геологической истории. Очень удачно Н. А. Штрейс образно назвал формации «мясом тектоники».

## ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ФОРМАЦИИ

В геологической литературе термин «формация» применяется для обозначения существенно различных понятий. В соответствии с задачами, поставленными в данной работе, мы будем под *гео-*

*логическими формациями* понимать ассоциации горных пород, объединяющихся по их совместному нахождению в крупные геологические тела; такие ассоциации характеризуются структурой и закономерным сочетанием пород.

Формациями называют как конкретные геологические тела (или их совокупности, в частности дискретные, как в случае некоторых магматических формаций), имеющие определенные местонахождение, протяженность, форму и геологический возраст, так и тела, объединенные общими признаками, но имеющие различные местонахождение, протяженность и возраст. В первом случае говорят о *конкретных* (региональных, провинциальных, областных) формациях (Ф. Ю. Левинсон-Лессинг, Н. П. Херасков, Ю. А. Кузнецов, использующий термин «магматический комплекс»), во втором — об *абстрактных* (всемирных) формациях. Примером формации в первом случае может быть нижнекембрийская спилито-кератофировая формация Алтае-Саянской области, во втором — абстрактная спилито-кератофировая формация как тип формаций, встречающихся в геосинклинальных системах различного возраста.

Среди формаций различают *осадочные, осадочно-вулканогенные, магматические* и *метаморфические формации.*

Н. П. Херасков показал, почему понятие парагенеза должно быть положено в основу учения о формациях. Понятие парагенеза принимается в минералогии для обозначения «смежности» или «совокупного пребывания» минералов (по В. М. Севергину) или же «способа совместного нахождения минералов — ассоциации» (по А. Брейтгаупту), а не их общего генезиса, который может быть неопределенным или спорным. Определяя петрографию как учение о парагенезах минералов, Н. П. Херасков предложил распространить понятие парагенеза на закономерное сонахождение пород и положить это понятие в основу учения о формациях. Закономерные ассоциации пород — их парагенезы — служат важнейшим поисковым признаком.

Поскольку формация является парагенезом пород, формации, так же как и породы, должны систематизироваться по составу и строению. «Выяснение генезиса формаций,— писал Н. П. Херасков,— является, конечно, важнейшей задачей их изучения, но выделяются формации не по генезису, а по парагенезу, так как выделение их не зависит от часто спорных генетических представлений. Так, например, флиш как формация установлен давно, а генезис его и сейчас является спорным» [1952, с. 37].

Прообразом магматических формаций в современном понимании этого слова можно считать *петрографические формации*, выделявшиеся Ф. Ю. Левинсон-Лессингом как совокупности всех пород, связанных с кристаллизацией какой-либо магмы — пород, непосредственно из нее возникших, ее контактного поля, продуктов сплавления и ассимиляции, пегматитовых жил и т. д.

Ю. А. Билибин считал, что интрузивные формации приурочены в пространстве к определенным тектоническим областям,

а во времени — к определенной фазе тектонического цикла. По Ю. А. Кузнецову, идея о такой приуроченности ведет к многочисленным ошибкам в практической работе геологов. В качестве абстрактных и конкретных магматических формаций Ю. А. Кузнецов различает соответственно формационные типы и магматические комплексы.

*Магматические формации первого рода* сложены целиком магматическими породами определенного состава: к ним относятся интрузивные формации, в которых осадочные породы присутствуют лишь в виде ксенолитов и контактовоизмененных пород. *Магматические формации второго рода* являются лишь частями геологических формаций (например, эффузивные образования, тесно связанные с породами осадочного происхождения). В этом случае магматическая формация выступает как подформация сложной эффузивно-осадочной геологической формации.

Е. К. Устиевым (1963 г.) были выделены *вулкано-плутонические формации*, интрузивные серии которых полностью отвечают плутонической ассоциации, хотя и сопровождаются в природе равноценной ей по геологическому значению эффузивной серией.

С учетом явлений метаморфизма выделяются *формации первой генерации*, т. е. все осадочные и вулканогенные формации, в которых первичный парагенезис пород не претерпел дальнейшего существенного изменения, и *формации второй генерации*, к которым относятся метаморфические комплексы высокой и средней степени метаморфизма, утерявшие первичный парагенезис пород.

Формации первой группы — *метаморфизованные* (осадочные, магматические, вулканогенно-осадочные и др.), а формации второй группы — это собственно *метаморфические формации*. И те и другие можно выделять как структурные элементы более крупных геологических тел (например, геосинклинальных комплексов, комплексов краевых прогибов, формационных рядов и т. д.). Конечно, границы между формациями обоих типов не могут быть окончательно установлены, так как это зависит от степени изученности их горнопородного вещества. Однако при фиксированных списке свойств и степени их изученности они могут рассматриваться как твердо установленные структурные элементы, вполне отвечающие целям тектонического районирования. Что же касается *рудных формаций*, они скорее являются, по удачному выражению П. М. Татаринова, лишь *семействами руд*; по отношению к собственно геологическим формациям они представляют *рои включений*, большей частью образованные инъективными дислокациями (телами) различных типов (жилы, метасоматические тела и т. д.). По отношению к собственно геологическим формациям они могут быть как *формационными*, так и *трансформационными*, а также автохтонными и аллохтонными. Рудные семейства могут быть приурочены к геологическим формациям различных групп (осадочные, магматические, метаморфические), причем они могут играть лишь роль включений, не определяющих общую

структуру. Однако высококонцентрированные и распространенные по значительным объемам (иногда сплошные) элементы рудных семейств могут определять облик геологической формации, а также отражаться в ее названии, например, в случае некоторых железорудных и марганцевых формаций.

## Выделение формаций и их состав

Для выделения формаций используются петрографические (литологические) характеристики ассоциаций горных пород, дающие возможность отнести данную конкретную ассоциацию (формацию) к формационному типу; структурные характеристики осадочных толщ (при выделении осадочных или осадочно-вулканогенных формаций), дающие возможность выделять парагенезы; крупные перерывы в последовательности формаций или крупные несогласия между ними. Основными являются петрографические и структурные признаки.

Выделение формаций только по наличию между ними крупных перерывов или несогласий не отвечает задачам тектонического районирования, при котором формации рассматриваются как средство выделения более крупных структурных элементов (геосинклинали, платформы и т. д.), а не как тела со структурными границами.

Главный методологический недостаток выделения формаций как ограниченных перерывами тел заключается в том, что при таком подходе тело «характеризуется не его внутренним содержанием, а только особенностями его границ, а последние могут быть даже не связанными с образованием самого тела, так как образование граничных перерывов в общем либо предшествует, либо следует за образованием тела» [Херасков, 1952, с. 39]. Н. С. Шатский, имея в виду строение зон взаимоперехода смежных формаций выделял *члены формаций — патрические* («свои») и *аллофильные* («чужие»).

Иногда предлагают определение конкретных формаций по их эталонам. Мыслится и другой путь. Абстрактные формации могут быть определены теоретически с учетом данных о распространении различных горных пород, минералов или химических соединений. С построенной таким образом *моделью* абстрактной формации могут сопоставляться конкретные формации для определения их типа. Оба эти пути имеют свои недостатки; так, в типовом эталоне по существу не ограничен набор признаков, по которым будут определяться формации. Может оказаться, что одна формация будет определена по одному набору признаков, содержащемуся в данном эталоне, а другая — по другому набору. В модели набор признаков будет строго ограничен, но модель в меньшей степени, чем эталон, будет отвечать ассоциациям пород конкретной формации. Поэтому правильнее выделение формаций обеспечивать эталоном, по которому построена модель с фикси-

рованным набором признаков. В эталоне, как и в модели, должны быть отражены кроме состава структурные особенности формации и порядок размеров.

Ориентировка на эталоны не обеспечивает разбиения пространства, поскольку эталонные типы могут пересекаться или не перекрывать отдельные его участки. Так, располагая эталонами молассовой, флишевой и аспидной формаций, т. е. рассматривая некоторую содержащую их структурно-формационную зону, мы можем встретиться со случаями, когда отдельные ее участки отвечают одновременно, например, флишевому и молассовому эталону, а другие — не отвечают ни одному из принятых эталонов.

Определения абстрактных формаций или формационных типов используются для выделения конкретных формаций. Однако большинство определений абстрактных формаций носит «качественный» характер и не содержит количественных критериев оценки их признаков, что допускает субъективную их трактовку и, следовательно, неоднозначность в выделении формаций.

Выделить формацию — это значит определить ее границы. Если речь идет об абстрактных формациях, то границы между ними могут быть проведены лишь как признаковые. Такая граница будет, например, разделять тип молассовых формаций 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 — в процентах или с точностью «да»—«нет» содержания какого-либо (или каких-либо) компонента формации; 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, есть возможность отличать один тип формаций от другого, т. е. одну абстрактную формацию от другой. Выделенные абстрактные и конкретные 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 гипергенной оболочки, например: тектоническим (платформы, геосинклинали и т. д.), географическим (континенты, океаны), климатическим (аридные, гумидные), глубинным (абиссальные, гипабиссальные) и т. д.

Выделение формаций является необходимой предпосылкой их описания и основой тектонического районирования.

Методика описания формаций пока разработана недостаточно. Обычно описание формации сводится к перечню входящих в нее горных пород с указанием преобладающих разновидностей. Иногда указываются основные особенности размещения различных разновидностей горных пород в конкретной формации (например, преобладание одних горных пород в нижних, других в верхних ее горизонтах), а также характер их чередования. Описание состава конкретных формаций обычно носит чисто качественный характер.

Для упорядочения выделения формаций необходимо, во-первых, разработать систему поддающихся количественной оценке признаков, во-вторых, разработать методику определения значений этих признаков. Поскольку признаки формаций не могут измеряться непосредственно, а являются производными от измеряемых значений, для определения признаков формаций должны быть созданы специальные математические методы. В основу определения признаков формаций должны быть положены полевые (промысловые) и петрографические исследования со специальной методикой.

Визуальное выделение по размерам и обнажениям отнюдь не способствует успехам формационного анализа и основанных на нем тектонического районирования и реконструкции развития основных структурных элементов гипергенной оболочки.

Приходится встречаться с высказываниями, что осуществляемые детальные литологические и петрографические описания разрезов, толщ, массивов представляют собой описания формаций и что чем более детальным и обширным материалом по петрографическим описаниям мы обладаем, тем более исчерпывающе можем охарактеризовать состав формации. Такие утверждения не совсем точны. Действительно, состав тела, в частности состав конкретной формации, может быть описан лишь одним из четырех способов: в среднем, по замерам в дискретных точках, функционально и статистически.

Все перечисленные способы дают возможность количественно характеризовать состав формаций, их сравнивать (выяснять количественные отношения между ними) и классифицировать. Всеми этими способами описывается состав конкретной формации как тела, границы и размеры которого ранее определены. Но описания отдельных участков внутри этого тела, произведенные различными методами, с различной детальностью и различной целью, не могут еще служить основой для описания формации.

Обычно описание формаций проводится не в химических, а в петрографических терминах, т. е. основывается на существующих классификациях горных пород. Некоторые из этих классификаций, например подразделение терригенных пород на песчаники разной крупности зерна, алевролиты, аргиллиты и т. д., основываются на структурно-текстурных признаках и не отражают минерального состава породы.

Такие классификации и наименования горных пород не подходят для описания формаций. Указать, что осадочная формация представлена чередованием прослоев песчаников, алевролитов и аргиллитов, это все равно что охарактеризовать магматическую формацию как состоящую из мелкокристаллических и крупнокристаллических пород. Классификация и наименование пород должны основываться прежде всего на минеральном составе. В отношении обломочных осадочных пород этому требованию отвечает классификация Г. Н. Бровкома и А. Е. Мотлева, выделяющая семейства кремнитов, аркозов, граувакк, лититов и миктитов.

От описания формаций зависит не только их классификация, но и тектоническое районирование гипергенной оболочки, а следовательно, выяснение ее планетарной структуры. Однако для этого необходима единая методика. Разработка ее связана с широким кругом вопросов, из которых важнейшим представляется усовершенствование или создание классификации горных пород, удовлетворяющей нуждам формационного анализа, полевым (разведочным, промысловым) возможностям и требованиям точности способа описания состава формации в количественных показателях.

Для выяснения соотношения формаций необходима их таксономия, подобно таксономии, используемой в стратиграфии (слои, свиты, ярусы, системы и т. д.). В этом отношении существуют различные предложения.

Н. П. Херасков ассоциацию пород с признаками формации, но являющуюся, однако, лишь частью формации, предложил называть *подформацией*. Термин Л. Б. Рухина «*субформация*» обозначает часть формации, представленную комплексом отложений, образовавшихся в сравнительно близких условиях. Часть формации, представляющую собой самостоятельный парагенез и отличающуюся от других частей формаций, И. В. Хворова называет *градацией*. По Н. П. Хераскову, «*надформация*» представляет парагенез формаций. Ю. А. Кузнецовым введено понятие *серии магматических комплексов*, принадлежащих к различным формационным типам, но сосредоточенных в пределах одной и той же структурно-фациальной зоны, сближенных по возрасту и нередко с общностью состава (офиолитовые серии эвгеосинклиналей).

Недостатком таксономических схем и рангов формаций является отсутствие масштаба. Надо создать таксономию формаций, снабженную масштабами размеров.

Разработка классификаций осадочных (и осадочно-вулканогенных) формаций представляет собой дело ближайшего будущего. Несомненно, что такая классификация должна основываться на вещественной и структурной характеристиках ассоциаций пород. Если парагенетический ряд формаций рассматривать как разработанную для одного разреза классификацию формаций, по последовательности которых можно судить об особенностях развития данного района, в частности о смене стадий развития, то общая классификация формаций должна быть построена так, чтобы по последовательности формаций по вертикали и латерали можно было бы судить об отличии отдельных районов по типам развития и об особенностях развития каждого из районов. Иными словами, надлежащая классификация формаций должна быть основой тектонического районирования и сравнительного анализа районов с различными типами развития.

Несмотря на отсутствие полной классификации осадочных и осадочно-вулканогенных формаций, отдельные их типы достаточно ясно выделены и обстоятельно охарактеризованы. Это касается прежде всего геосинклинальных формаций, распространенных на

ограниченных площадях и характеризующих особенности этих площадей, отличающие их от значительно более обширных окружающих пространств — областей платформенного строения. Монотонный характер осадочных толщ на платформах не позволяет достаточно эффективно использовать выделение формаций для тектонического районирования. Действительно, различия состава осадочных толщ на антеклизах и синеклизах бывают очень неотчетливыми, недостаточными для того, чтобы различать их по формационному признаку. Применение формационного метода на платформах часто ограничивается выделением вертикальных формационных рядов и обоснованием ими стадий развития, что не дает значительных преимуществ по отношению к ранее применявшимся палеогеографическим, палеофациальным и палеоструктурным методам историко-геологического анализа. Эту мысль выражал Н. С. Шатский (1955 г.), когда писал, что климатическая зональность распределения платформенных формаций не подавлялась вторичной тектонической зональностью в пределах обширнейших платформенных областей Северного полушария. Так называемые платформенные формации распространены не только на платформах, но и в прилегающих к ним частях подвижных (геосинклинальных) областей, а также на устойчивых участках среди них (срединные массивы). Короче говоря, это формации *неспецифические, которые могли образовываться повсеместно* в условиях спокойного тектонического режима (отсутствия контрастных движений и магматической деятельности). Другие же формации, которые оказались *специфическими*, привлекали главным образом внимание исследователей. К таким формациям относятся молассовые и молассоидные формации, флишевые и флишоидные формации, аспидные, кремнисто-сланцевые, кремнисто-вулканогенные, зеленокаменные, угленосные, соленосные, нефтеносные и многие другие.

Если провести параллель с распределением магматических формаций, то *неспецифические осадочные формации будут отвечать* амагматичным условиям (вспомним, что платформенный режим, как считает Ю. А. Кузнецов, полностью амагматичен).

### Парагенетические ряды

При выделении парагенетических рядов имеется в виду исследование развития. *Ряды* — это совокупности формаций (или их членов), в основном охарактеризованные не общностью вещественного состава, а последовательностью расположения. По Н. С. Шатскому, *группа формаций* — это такой их парагенез, который не может быть представлен простым рядом.

Переходы от формации к формации (или от члена к члену) в последовательности рядов могут сопровождаться зонами чередования. Ряды характеризуют последовательность расположения формаций (членов) и событий (этапов, стадий, состояний), с которыми могло быть связано их формирование. По этой причине

при выделении рядов масштаб размеров не столь необходим, как при построении таксономических схем. Близким к понятию группы формаций является понятие структурно-вещественного комплекса.

### Осадочные формации и их ряды

Выделяются *вертикальные и латеральные ряды.* Изучая вертикальную последовательность (ряд) формаций, можно рассматривать формации как слои и в соответствии с законом последовательности напластования определять последовательность образования формаций во времени. Рассматривая вертикальные ряды совместно с латеральными, можно определять закономерности образования формаций и их соотношения во времени и пространстве (их расширение, сужение, вырождение и миграцию с течением времени). Аналогично формациям следует различать абстрактные и конкретные формационные ряды.

Выделение и изучение крупных областей через формации не вполне освоено. Поэтому еще пользуется распространением морфологический подход при тектоническом районировании, при котором форма в плане, степень и характер дислоцированности принимаются в качестве ведущего признака. Однако формационный подход к тектоническому районированию находит все более широкое применение.

Для платформенных областей Н. С. Шатским выделены *автохтонные формации*, не содержащие обломочного материала, принесенного непосредственно с соседних складчатых сооружений, и *аллохтонные* формации, образовавшиеся из обломочного материала, снесенного из соседних с платформой складчатых горных сооружений. Аллохтонные формации замещаются автохтонными при движении от внеплатформенных источников сноса к внутренним частям платформ. Приведенные понятия могут быть распространены на геосинклинальные области.

Одна из наиболее важных работ по выделению конкретных рядов заключалась в установлении последовательности формаций Зилаирского синклинория (Урал), который в силуре и девоне располагался в пределах геосинклинальной области, а в позднем палеозое смещался к западу, захватывая краевые участки платформ. В течение среднего и позднего палеозоя область синклинория характеризуется следующей сменой формаций (Зилаирский формационный ряд Б. М. Келлера):

1) кремнистая формация прогиба, не загруженного осадками, возникшая в относительно глубоководных условиях при отсутствии привноса значительного количества терригенного материала;

2) аспидная формация зилаирской свиты, появившаяся в момент общих нисходящих движений, которые сопровождались образованиями поднятий внутри геосинклинальной области, сложенных вулканогенными толщами; в результате их размыва прогиб

заполняется мощными песчано-сланцевыми толщами; непрерывное опускание прогиба целиком компенсируется осадконакоплением;

3) флишевая формация, возникающая в тот период развития геосинклинали, когда при обильном привносе терригенного материала проявляются резкие нисходящие движения в прогибе одновременно с ростом прилегающих поднятий; в рельефе морского дна благодаря непрерывным опусканиям возникает депрессия, все время заполняющаяся осадками и существующая лишь по причине непрерывных нисходящих движений;

4) формация морских моласс, образующаяся на начальных стадиях общего подъема геосинклинали и ограничивающих ее поднятий; резкое геоморфологическое расчленение отдельных поднятий и прогибов на этой стадии утрачивается; краевой прогиб заполняется мелководными терригенными образованиями, снесенными с относительно удаленных поднятий.

Зилаирский формационный ряд далеко не универсален.

Краевые прогибы платформ (т. е. части краевых прогибов, которые развиваются на геосинклинальном основании) и внутренние прогибы геосинклинальной области резко различны по соотношению формаций, их последовательности и полноте формационных рядов.

## Магматические формации и их группировки

Конкретные осадочные формации являются «наслоенными», и их пространственные отношения, а также заключенные в них признаки возраста (например, фауна) отражают последовательность событий геологической истории. Иначе обстоит дело с магматическими формациями первого рода, которые представлены массивами, а часто даже группами удаленных друг от друга массивов; пространственное расположение таких формаций само по себе еще может ничего не говорить о последовательности событий и о развитии. Последовательность возникновения конкретных магматических формаций первого рода определяется взаимоотношением тел, составляющих магматическую формацию, с осадочными и осадочно-вулканогенными формациями, место которых в формационном ряду определено. Установлению последовательности магматических формаций способствуют также определения радиометрического возраста и представления о генетических соотношениях магматических комплексов.

После того как определены последовательность и место магматических формаций в рядах осадочных и осадочно-вулканогенных формаций, они становятся средством исследования развития гипергенной оболочки, главным образом роли глубинных процессов и эволюции глубинного вещества в этом развитии. Существует различный подход к изучению магматических и осадочных формаций. При характеристике первых основное внимание уделяется петрографическому и даже химическому составу, при характери-

стике вторых — структурным особенностям как формаций, так и образующих их горных пород.

Ю. А. Кузнецов выделяет по приуроченности к тектоническим областям и стадиям группировки формаций. Во-первых, формации собственно геосинклинальных этапов развития подвижных зон. К этой группе принадлежат спилито-кератофировая серия, ассоциирующаяся с глинистыми и алевролитовыми сланцами и кремнистыми породами, габбро-плагиогранитная серия, к которой относится, в частности, габбро-диабазовая формация, представляющая интрузивную (силловую) фацию спилит-диабазовой формации и рассматриваемая Ю. А. Кузнецовым как геосинклинальный эквивалент трапповых интрузий устойчивых областей, гипербазитовая формация, отчетливо связанная с глубинными разломами. Гипербазиты необязательно приурочены к «начальным стадиям» геосинклиналей; они могут быть значительно более поздними и непосредственно предшествовать гранитам. Тела гипербазитовой формации образуют *гипербазитовые пояса* длиной до 2400 км (Аппалачи). Для гипербазитовых тел характерны очень слабые контактовые изменения вмещающих пород, отсутствие в эндоконтактовых зонах признаков их ассимиляции, а также отсутствие существенной измененности встречающихся в краевых частях массивов ксенолитов — все вместе взятое свидетельствует о низкой температуре интрузий и дает основание некоторым ученым обобщенно относить их к тектоническим чешуям. Ю. А. Кузнецов считает, что гипербазитовая магма во время интрузии представляла собой «кашу» из кристаллов оливина и энстатита, причем поры были заполнены водным раствором. Он предполагает также, что увеличение объема при серпентинизации под действием притекающих со стороны растворов могло оказаться силой, продвигающей серпентинизирующееся гипербазитовое тело вверх по зоне разлома. Во-вторых, орогенная группировка формаций, включающая, в частности, серию батолитовых гранитоидных формаций. Для серии батолитовых формаций характерна зависимость состава интрузивов от состава вмещающих пород (глинистые сланцы — граниты, граувакки — гранодиориты, эффузивно-карбонатно-сланцевые толщи — интрузивы «пестрого состава» с риолитами, кварцевыми диоритами, сиенитами и т. д.), что говорит о ведущей роли магматического замещения и магнезиального и щелочного метасоматоза. Опираясь на разработанную Д. С. Коржинским гипотезу происхождения гранитов путем магматического замещения, Ю. А. Кузнецов подчеркивает, что сами гранитоидные батолиты являются законсервированными магматическими очагами. При наличии в этих очагах значительных объемов расплава трещины и тектонические подвижки могли способствовать интрудированию гранитов в толщи вмещающих пород. Образование диапир-плутонов могло быть обязано также «гравитационному всплыванию крупного пузыря относительно легкой магмы». В силу подвижности расплава резкие границы между интрудированными и неинтрудированными плутонами могут отсутствовать. В-третьих,

группировка формаций устойчивых областей (платформы, континенты, океаны), включающая серию покровно-силловых формаций, серию центральных интрузий и трубок взрыва (кимберлитовая фация, формация центральных интрузий щелочных и ультраосновных пород с карбонатитами, формация центральных интрузий нефелиновых сиенитов, формация гранитных и габбро-гранитных центральных интрузий).

Объединяя магматические формации устойчивых областей океанов и континентов в одно подразделение, Ю. А. Кузнецов подчеркивает почти полную идентичность базальтового и щелочно-базальтового магматизма в океанах и на континентах. По двум причинам он считает невозможным выделение «платформенных» формаций. Во-первых, так называемые «платформенные формации» распространены не только на платформах, но и в областях завершенной складчатости (на молодых платформах) и даже в океанах. Во-вторых, «собственно платформенный режим является, по-видимому, всегда полностью амагматичным, и проявления магматической деятельности на древних и молодых платформах всегда связаны с нарушением этого режима или, иначе говоря, с активизацией таких жестких устойчивых структур, выражающейся ярче всего возникновением и последующим обрушением сводовых поднятий» [1964, с. 370]. Сводовые поднятия (Байкало-Патомское, Восточно-Африканское и др.) могут быть разных размеров, а также различной формы, например, изометричное сводовое поднятие, на месте которого образовалась Тунгусская синеклиза, удлиненные поднятия, сопровождающиеся рифтами. «Оседание изометричных плоских сводов обычно сопровождается трапповым магматизмом, в то время как с образованием линейных рифтовых грабенов связано излияние оливиновых базальтов и их субщелочных и щелочных дифференциатов» [1964, с. 242].

Невысокая химическая активность и малое содержание летучих компонентов в базальтовых магмах сказываются на преобладании спокойных трещинных излияний и щитовых вулканов. При накоплении же в глубинных или промежуточных очагах летучих компонентов «в областях массового развития базальтового вулканизма наблюдается проявление взрывной деятельности с образованием воронок, выполненных пирокластическим материалом, а также стратовулканов и центральных интрузий» [1964, с. 243].

В 1976 г. Ю. А. Кузнецов вместе с А. Ф. Белоусовым и Г. В. Поляковым разработал количественные критерии классификации магматических формаций. Однако эти критерии пока находятся на статистическом уровне и не создают надежной основы для выделения магматических формаций, т. е. для проведения их границ.

С появлением работ Ю. А. Кузнецова, значительно упорядочивших представления о рядах и группировках магматических формаций, оказалось возможным в формационные ряды, характеризующие тектоническое развитие того или иного участка гипергенной оболочки, включать в качестве их компонентов не только

осадочные и осадочно-вулканогенные формации, как это делали раньше, но и собственно магматические формации. Таким же путем в формационные ряды включаются вулкано-плутонические формации Е. К. Устиева.

### Метаморфические формации

Вопрос о метаморфических формациях наименее разработан, так как обычно считается, что геологическое развитие какой-либо области, например геосинклинали, достаточно раскрывается в последовательности (рядах) осадочных и магматических формаций, представляющих соответственно экзогенные и эндогенные процессы и их взаимоотношения в ходе этого развития. При наличии в исследуемом разрезе метаморфических толщ должна быть реконструирована их первичная природа с тем, чтобы эти толщи могли бы быть отнесены к тем или иным конкретным осадочным или магматическим формациям.

Однако следует учитывать три обстоятельства. Во-первых, степень метаморфизации толщ может быть такова, что окажется невозможным не только отнести их к определенным типам осадочных или магматических формаций, но и определить, образовались ли они из осадочных или магматических пород. Особенно это касается наиболее сильно метаморфизованных архейских толщ. Очевидно, такие толщи, по крайней мере в некоторых случаях, более удобно подразделять не на осадочные и магматические формации, а на метаморфические комплексы.

Во-вторых, исключение метаморфических формаций при исследовании формационным методом приводит к неполноте реконструируемого ряда процессов, сопровождающих геологическое развитие, например изменения температурных и динамических условий, глубин захоронения отложений и т. д. Выделение метаморфических формаций и изучение их соотношений с осадочными и магматическими формациями может оказаться весьма существенным для характеристики строения и развития. Поэтому при формационном анализе надо учитывать метаморфические формации, даже если не представляется возможным однозначно восстановить типы исходных формаций.

В-третьих, выделение в осадочной оболочке метаморфических формаций может оказаться удобным для сопоставления их строения с сейсмологическими данными и, в частности, для проверки широко распространенных представлений о том, что горизонтальные сейсмические поверхности раздела соответствуют вертикальной метаморфической зональности.

## ТЕКТОНИЧЕСКОЕ КАРТИРОВАНИЕ

Имея в виду, что выделение структурных элементов по структурно-вещественным признакам сводится к определению границ комплексов (рядов, групп) геологических формаций и в конеч-

ном счете границ самих формаций, рассмотрим вопрос о выделении структурных элементов гипергенной 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 выражены, что может вызвать очень большие расхождения в проведении 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 определения, 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 отдельным формациям, а их комплексам (надформации, ряды и т. д.), выделение и разграничение типов которых связано с еще большими трудностями, чем выделение формаций. 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 по-разному.

Следовательно, из-за отсутствия точных (количественных) определений типов формаций, множественности признаков их выделения и несовпадения контуров проведение границ между структурными элементами гипергенной оболочки в известной мере зависит от подхода исследователя. Нередко границы структурных

элементов гипергенной оболочки проводятся однозначно и объективно. Это оказывается возможным при наличии ограничивающих глубинных разломов, обозначающих иногда единую резкостную границу формации, даже если она выделяется по многим признакам, или формационного ряда, несмотря на то, что контуры образующих его формаций вообще различны и совпадают только вдоль зоны разломов. Сказанным подчеркивается особое значение глубинных разломов при тектоническом районировании.

Использование глубинных разломов при проведении границ структурных элементов гипергенной оболочки, несомненно, имеет преимущества, поэтому 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 гипергенной 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.

Выше была подчеркнута возможная неоднозначность в проведении границ при современном состоянии формационного метода. Можно даже сказать, что границы структурных элементов 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 от идеала. Однако оно носит, несомненно, временный характер. Неизбежность и целесообразность таких соглашений объясняются необходимостью существования обязательных для всех хотя бы временных научных критериев (законов), обеспечивающих единство в исследованиях. Для устранения недостатков при проведении границ структурных элементов, как это следует из сказанного ранее, необходима, во-первых, разработка количественных критериев выделения геологических формаций, во-вторых, устранение множественности признаков выделения формаций, в-третьих, разработка методики объемного тектонического районирования и методики изображения объемных структурных элементов. Этим, 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.

Поскольку тектонические карты строятся по структурно-вещественным признакам, 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.) структурные элементы представлены областями складчатости различного возраста (докембрийского, каледонского, герцинского, мезозойского и альпийского); на схеме отображены границы элементов, их размеры и форма в плане. Вертикальные размеры структурных элементов (глубина распространения изображаемых складчатых комплексов) на схеме не показаны, 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 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 структуре и проводить их сравнительный анализ. Двумерный характер старых тектонических схем связан как с неизученностью больших глубин, так и с гипотезой о разрастании платформ, постепенной консолидации сиаля, изживании геосинклинального режима и т. д.

Н. С. Шатский писал, что в истории земной коры хорошо распознаются только окончания развития тех или иных геосинклинальных систем, хорошо выделяется «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, а когда началось их развитие — до сих пор не удалось выяснить. Заметим, что эта идея в последние два десятилетия возродилась в новой форме, которая заключается в представлениях о заложении геосинклиналей на «океанической коре», которая как бы приравнивается к первичной «доосадочной» Земле; с этим тесно связана проблема офиолитовых чешуй.

Невыясненность начала геосинклинального развития, объясняющаяся недостаточной изученностью 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 платформы и что они являются унаследованными от древнего пластического или «доосадочного» состояния. Отметим, что подобная предпосылка, имеющая кардинальное значение в разработке представления о разрастании платформ или, как сейчас пишут, «континентальной коры», и, следовательно, о направлении развития структуры гипергенной оболочки Земли, является спорной и многие геологические факты ей противоречат.

В частности, для некоторых 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, а также эпикратонных геосинклинальных систем.

Наметился переход к объемному районированию с выделением трехмерных тел. Так, для платформ обозначаются не только контуры чехлов, но и их нижние границы, показанные в изогипсах глубины залегания поверхности фундамента. Таким образом, по карте может быть вычислен объем чехла. Трехмерные тела выделяются также в складчатых областях. Это структурные этажи, которые на картах 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.

Обычно трехмерные резкостные тела даны в неявном виде. Представления о таких телах как бы «извлекаются» при анализе карты. В 1964 г. нами был проведен опыт специального объемного тектонического районирования территории Сибири и Дальнего Востока; были выделены покровные (чехлы) и складчатые комплексы, образующие в совокупности линзообразно-чешуйчатую структуру верхней части гипергенной оболочки. Однако при районировании архейские ядра фундамента платформ и комплексы 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 гипергенной оболочки, который может быть представлен в виде трехмерных тел. Если «плоское» тектоническое районирование 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.

В качестве структурных элементов гипергенной 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 гипергенной 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.*

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 минеральному составу и петрографической структуре. В более крупных структурных элементах, состоящих из формаций, свойство периодичности выражено значительно слабее. 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 гипергенной 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.

На «Карте тектоники докембрия континентов» (1972 г.) впервые в качестве структурных элементов выделены структурно-вещественные комплексы, охарактеризованные формационным составом и возрастом. Структурные элементы второго ранга не выделены. В виде включений показаны массивы гранитоидов, а также одним знаком массивы габброидов и гипербазитов, приведено деление комплексов на складчатые и нескладчатые. Состав комплексов представлен типами формаций.

В 70-х годах наметился новый подход к тектоническому районированию [«Палеозоиды...», 1972; «Проблемы...», 1981]; он основан на структурно-вещественных признаках. Однако в качестве

опосредованного признака выделения структурных элементов принято не время окончания геосинклинальной складчатости, а время заложения геосинклиналей, суждение о котором в основном очень слабо связано с непосредственными наблюдениями и измерениями, а главным образом с гипотетическими трактовками немногих разрезов. Укажем, что тектоническое районирование описанными выше методами основано на фактах, из которых «вычитываются» черты строения и создается основа для поисков полезных ископаемых и других практических целей. Карты же, составленные с новым подходом, полезны в основном для проверки поддерживаемой их авторами гипотезы и достаточно эффективного практического применения пока иметь не могут.

## КОНТИНЕНТАЛЬНЫЕ И ОКЕАНИЧЕСКИЕ, ГЕОСИНКЛИНАЛЬНЫЕ И ПЛАТФОРМЕННЫЕ ОБЛАСТИ

В качестве главных структурных элементов гипергенной оболочки выступают континентальные и океанические области. Гипергенная оболочка в этих областях построена существенно различно.

Существует мнение, согласно которому в качестве главных структурных элементов гипергенной оболочки, включая ее континентальную и океаническую части, могут выделяться, с одной стороны, ортогеосинклинали, с другой — поднятые и опущенные кратоны (талассократоны). Согласно Г. Штилле, все ортогеосинклинальные системы зажаты между кратонами; ортогеосинклинали, расположенные между двумя поднятыми кратонами, именуются *межконтинентальными*, или *средиземными*, а расположение между поднятыми и опущенными кратонами — *околоконтинентальными*; примерами последних являются ортогеосинклинальные системы Америки. А. А. Богданов, основываясь на представлениях о подвижности различных участков океанического дна и их геоморфологических особенностях, выделяет океанические платформы или талассократоны, которые противопоставляются срединным океаническим орогеническим поясам. Ю. М. Шейнманн обосновывал выделение структурных элементов океанических областей вещественными характеристиками, а именно: близким сходством глубинных магм стабильных областей океанов и платформ на континентах и существенным их отличием от геосинклинальных магм как на континентах, так и в океанах (островные дуги); с этим связан интересный факт обнаружения на срединноокеанических хребтах гипербазитов, сходных с гипербазитами геосинклиналей на континентах. Возможность разделения гипергенной оболочки не только в пределах континентов, но и в пределах океанов на геосинклинали и кратоны основывается или на представлениях о различиях в механической прочности, или на сравнительной подвижности, или на вещественных характеристиках.

Если для океанов существующие попытки разделения гипер-

генной оболочки по вещественному (формационному) составу на платформы и геосинклинальные области обоснованы пока только для мезозоя и кайнозоя, то на континентах в основу такого разделения положен огромный фактический материал по изучению осадочных и магматических комплексов, включающий палеозой и докембрий.

По А. А. Борисяку [1924, с. 4], выделение и характеристика геосинклиналей и платформ, т. е., так называемая теория геосинклиналей, сыграла «крупную руководящую роль в истолковании всей истории земной коры» (гипергенной оболочки). «Теория геосинклиналей, — писал он, — построенная на обобщении тех фактов, которые дает осадочная толща земной коры, внесла в историю этой коры элементы порядка и закономерности; соответственно совершенно преобразовалась та область геологии, которая излагает историю Земли, т. е. историческая геология: из нагромождения фактического материала (описания систем и разрезов) она превратилась в настоящую историю, т. е. изложение последовательных ее периодов» [1924, с. 5].

Обобщение фактов, касающихся осадочных толщ и магматических пород, позволило А. Д. Архангельскому также прийти к выводу, что основными структурными элементами «земной коры» являются геосинклинальные области и платформы. «Считаем их основными, — писал А. Д. Архангельский [1939, с. 26], — потому, что элементы эти глубоко качественно отличны один от другого. Это качественное отличие появляется в зависимости от иного, неизмеримо более интенсивного характера движений в геосинклинальных областях по сравнению с платформенными. В результате в геосинклинальных областях возникают качественно отличные от платформенных формы дислокаций в виде интенсивной складчатости и другие явления в виде метаморфизма, вулканизма, геохимических процессов, в частности металлогении, и, наконец, рельефа».

Заметим, что все перечисленные элементы «качественного» различия геосинклиналей и платформ полностью основываются на «базисной» их характеристике как тел с определенным формационным составом, последовательностями и парагенезами формаций.

## О ВОЗМОЖНОСТИ ВЫДЕЛЕНИЯ ДРУГИХ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ГИПЕРГЕННОЙ ОБОЛОЧКИ

Платформенные и геосинклинальные области являются основными структурными элементами континентов. Существуют еще пограничные или переходные области, в пределах которых ассоциации геологических формаций носят смешанный или переходный характер, что может быть связано с раздроблением окраин платформ и распространением на них геосинклинального тектонического режима, в частности, с повышением подвижности и проницаемости.

Вряд ли можно согласиться с выделением переходных и пограничных зон в качестве основных структурных элементов гипергенной оболочки наряду с платформенными и геосинклинальными областями. Во-первых, являясь переходными, эти зоны не имеют специфической вещественной характеристики, позволяющей их четко ограничивать, во-вторых, они несоразмерны с основными структурными элементами гипергенной оболочки.

Рассмотрим возможность выделения наряду с геосинклинальными и платформенными областями также орогенных областей, охарактеризованных современной или «неотектонической» активизацией рельефа (например, глыбовые зоны Г. Ф. Мирчинка). В таком случае следует иметь в виду, что геосинклинальные и платформенные области, точнее, соответствующие им комплексы осадочных и магматических формаций, участвуют в строении гипергенной оболочки в качестве ее структурных элементов и определяют, таким образом, ее структуру. Эти комплексы формировались в течение длительных отрезков времени на больших площадях, и изучение их состава и соотношение позволяют восстанавливать особенности геологического (тектонического) развития гипергенной оболочки и отдельных ее частей. Что касается орогенных областей, то они представляют собой лишь определенные состояния, присущие этим структурным элементам на различных стадиях их развития.

Однако часто благодаря смешению формационных и орографических (неотектонических) признаков ясность в этом вопросе теряется.

Границы геосинклинальных и платформенных областей, с одной стороны, и орогенических — с другой, могут пересекаться, чем подчеркивается принадлежность их к различным системам подразделений. Это отнюдь не означает, что геосинклинальные области как структурные элементы гипергенной оболочки и орогенные области как структурные элементы рельефа поверхности Земли не связаны друг с другом вообще. Те и другие выделяются на едином объекте — Земле. Связь их представляется несомненной. Однако формы этой связи могут быть различными и сложными; они должны устанавливаться для конкретных случаев.

Рассматриваемый вопрос имеет второй аспект, а именно: речь может идти о выделении наряду с геосинклинальными и платформенными также орогенных комплексов формаций в качестве третьего типа структурных элементов гипергенной оболочки. Такой подход может оказаться полезным при объемном районировании, но при площадном районировании он сопряжен со значительными трудностями. Действительно, любая геосинклинальная область (система), рассматриваемая как комплекс формаций, включающая не только собственно геосинклинальные, но и орогенные формационные ряды, должна была бы обозначаться на карте как орогенная область. Это касается даже таких молодых развивающихся геосинклинальных систем, как Кавказ, с их мо-

лассовыми формациями. Таким образом, на тектонической карте то, что сейчас обозначается как геосинклинальные складчатые области различного возраста, фигурировало бы в качестве орогенных складчатых областей. Очевидно, что при площадном районировании выделение структурных элементов третьего типа не дает никаких сколько-нибудь определенных преимуществ. Вместе с тем оправдано практикой составления тектонических карт выделение в пределах складчатых (геосинклинальных) областей орогенных комплексов; эти комплексы по своим размерам могут рассматриваться лишь как структурные элементы геосинклинальных областей, но не как структурные элементы гипергенной оболочки, соразмерные с платформенными и геосинклинальными областями. Только орогенные комплексы, выполняющие внутриконтинентальные впадины современных континентов, занимают обособленное по отношению к платформенным и геосиклинальным областям положение. Но и в этом случае самостоятельность орогенных комплексов еще не делает их структурными элементами гипергенной оболочки. Из-за малых размеров эти орогенные комплексы (впадины) в структуре гипергенной оболочки в целом могут фигурировать лишь в качестве «включений».

## СТРУКТУРНЫЕ ЭТАЖИ

Структурными элементами гипергенной оболочки являются также *структурные этажи* или *структурные ярусы*. Эти названия, часто применявшиеся для обозначения толщ, разделенных поверхностями несогласий и отличающихся по структуре, сейчас все больше и больше применяются для обозначения крупных слоев гипергенной 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 формационный состав, способный более полно отражать этапы геологического развития, соответствующие их (этажей) последовательности. 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 степенью метаморфизованности и дислоцированности пород фундамента.

По А. А. Богданову, высшими членами ряда структурных этажей являются *мегакомплексы, имеющие планетарное распространение* и охватывающие по времени формирования несколько эр (фундаменты и чехлы древних платформ, совокупность складчатых систем от байкальской до альпийской). Далее следуют *складчатые комплексы* (складчатые системы), 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 являются *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 гипергенной оболочки. Так, М. В. Муратов различал в геосинклинальных областях Евразии: 1) *комплекс основания, образованный в позднедокембрийских 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 с поверхности межгорные депрессии и краевые прогибы. Комплексам отвечают три основных этапа развития геосинклинальных областей: *архигеосинклинальный, главный геосинклинальный и тэликогеосинклинальный (орогенный).*

## РАЗДЕЛЕНИЕ ГЕОСИНКЛИНАЛЬНЫХ И ПЛАТФОРМЕННЫХ ОБЛАСТЕЙ ПО ВОЗРАСТУ И ПО СТЕПЕНИ КОНСОЛИДАЦИИ

Принято разделение геосинклинальных областей по времени завершения геосинклинального развития или по времени консолидации. Такое разделение имеет не только исторический (временной), но и структурный аспект. Выделяя области каледонского геосинклинального развития, мы имеем в виду не только то, что в их пределах это развитие закончилось к концу раннего палеозоя, но также и то, что структурный этаж, образованный геосинклинальными формациями, включает отложения не моложе силурийских; верхние структурные этажи не содержат формаций геосинклинальной группы и соответствующих им интрузивных проявлений. Выделение областей с различным возрастом складчатости в настоящее время проводится на основании изучения распределения геологических формаций в гипергенной оболочке. Таким образом, выделение различных по возрасту геосинклинальных областей представляет собой выделение структурных элементов гипергенной оболочки по вещественному составу и внутренней структуре.

Области платформенного строения всегда имеют верхний слабодислоцированный структурный ярус, сложенный платформенными формациями (платформенный чехол), и фундамент, образованный формациями геосинклинального типа. Области платформенного строения можно различать по возрасту фундамента. Н. С. Шатский по этому признаку выделял мезозойские, гер-

цинские, каледонские платформы, которые он называл молодыми, и древние платформы. Однако определение платформы по возрасту фундамента имеет смысл только для древних платформ, поскольку в их пределах фундамент всегда имеет докембрийский и только докембрийский возраст. Определение же молодых платформ по возрасту фундамента не имеет смысла, так как в этом случае чехлы, имеющие вид огромных плоских синклинальных линз, располагаются на разновозрастном фундаменте, причем контуры чехлов обычно не согласуются с очертаниями структурных элементов фундамента. По этим соображениям возраст областей платформенного строения с фундаментом более молодым, чем докембрийский, правильнее определять по времени формирования их чехлов.

Один и тот же участок поверхности Земли при наличии платформенного чехла может относиться как к геосинклинальной области, так и к области платформенного строения. Иными словами, участки геосинклинальной области, имеющие платформенный чехол, могут рассматриваться как области платформенного строения. Поэтому при тектоническом районировании не представляется возможным одновременное выделение геосинклинальных областей различного возраста и областей платформенного строения различного возраста. Такие области будут пересекаться между собой, что создаст путаницу. Например, контуры эпигерцинской платформенной области Западно-Сибирской низменности пересекутся с контурами дорифейских, байкальских, каледонских и герцинских областей геосинклинального строения. Поэтому во избежание неясностей на тектонических картах принято выделять области по возрасту их геосинклинального развития (возрасту складчатости, времени завершения геосинклинального развития). Такое районирование обеспечивает структурно-вещественную характеристику выделяемых структурных элементов различных рангов.

Области докембрийского геосинклинального развития существенно отличаются от более молодых областей (по распространению и степени метаморфизма, гранитизации, наличию особых геологических формаций, жесткости фундамента и связанных с ней особенностей чехла). Особенности строения таких *древних платформ,* их обычно ясные ограничения, определяемые, как правило, крупными разломами, позволяют четко выделять их в качестве структурных элементов гипергенной оболочки. Однако в тех случаях, когда краевые выступы фундамента древних платформ соприкасаются по разлому с приподнятым комплексом основания смежной геосинклинальной области, проведение границы платформы сопряжено с трудностями. Это, в частности, имеет место для южного ограничения Сибирской платформы (Главный Саянский разлом и Южно-Алданский краевой шов), где различия между алданским и шарыжелгайским комплексами фундамента платформы и сопоставляемыми с ним комплексами основания геосинклинали не всегда отчетливы и иногда связываются не

с первичным петрографическим составом, а с характером метаморфизма.

В качестве структурных элементов другого класса описаны геосинклинальные области, формировавшиеся в неогее. *Молодые платформы,* чехлы которых занимают отдельные участки этих геосинклинальных областей, частично распространяются на территории древних платформ.

Платформенные области являются наиболее устойчивыми участками гипергенной оболочки, что проявляется в формировании платформенного чехла на этом этапе развития платформенной области, который соответствует наибольшей ее устойчивости. Однако платформенные области или части их могут отличаться степенью своей устойчивости. Например, наличие дробящих платформы глубинных разломов, магматические проявления на платформах, связанные с появлением в их пределах зон проницаемости, свидетельствуют о сниженной степени устойчивости платформ.

В принципе предложение о различении платформенных областей по степени их устойчивости заслуживает большого внимания. Однако правильность конкретного отнесения платформенных областей к тому или иному классу вызывает сомнение. Например, можно ли считать устойчивой Восточно-Европейскую платформу, учитывая, что на ней развивалась сеть авлакогенов со значительными магматическими проявлениями, а на юге в ее теле возникла система Большого Донбасса, активное развитие которой шло в течение нескольких периодов и сопровождалось магматизмом. То же следует сказать и о Североамериканской платформе, западная окраина которой в пределах широкой полосы подверглась длительному и интенсивному дроблению (Скалистые горы); в теле платформы возник глубокий прогиб Вичита, во многом подобный прогибу Большого Донбасса.

## ОБЛАСТИ ГЕОСИНКЛИНАЛЬНОГО СТРОЕНИЯ

Области геосинклинального строения рассматриваются нами как крупные геологические тела или системы тел, выделяемые по формационным характеристикам в качестве структурных элементов гипергенной оболочки. Они могут быть разделены на тела меньших размеров. Существует соподчиненность (таксономия) этих структурных элементов.

К наиболее крупному рангу структурных элементов гипергенной оболочки, обладающих геосинклинальным строением, относится *геосинклинальный пояс,* или *геосинклинальный складчатый пояс,* определяемый как крупный участок (второго порядка по площади) гипергенной оболочки, ограниченный только древними платформами, в состав которого входят молодые и древние складчатые сооружения, имеющие единый план; например, совокупность каледонид, герцинид и альпид Европы, Северной Африки и Передней Азии образуют Средиземноморский пояс, а Ура-

ло-Монгольский пояс включает Урал, Тянь-Шань, Монголо-Охотскую систему и др.

Следующим по рангу структурным элементом являются *геосинклинальные области*. 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 в вопросе разделения геосинклинального пояса на геосинклинальные области нет ясности. 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 состоят из геосинклинальных систем и срединных массивов. Геосинклинальные системы состоят из геосинклиналей и геоантиклиналей. Эта таксономия, как и таксономия формаций, только лишь намечена, соотношения ее рангов недостаточно определены, в использовании рангов и обозначающих их терминов часто наблюдается произвольный подход. Термины «геосинклинальная область» и «геосинклиналь» иногда применяются для обозначения любых размеров областей геосинклинального строения и в таком случае никаким рангам не соответствуют. Кроме того, в литературе встречаются различные наименования одних и тех же объектов, например Уральская геосинклиналь и Уральская геосинклинальная система, Монголо-Охотский пояс и Монголо-Охотская система и т. д.

А. Д. Архангельский указывал 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 системами с момента образования последних. Впоследствии эти два типа массивов были названы мною соответственно *массивами ранней консолидации* и *остаточными срединными массивами*. Однако затем проявилась тенденция к ограничению содержания понятия «срединный массив». Под этим названием все чаще понимают только остаточные массивы, подобные небольшим платформам. На срединных массивах, подобно «настоящим» платформам, выделяются крупные структурные формы типа краевых прогибов и внутренних впадин.

Структурные элементы геосинклинальных областей являются крупными (третьего порядка) телами, геологическое развитие которых было длительным (эпохи и периоды); они обладают глубоким заложением, и процессы, связанные с формированием по крайней мере некоторых из них, затрагивали такие глубокие части гипергенной оболочки, в которых могло происходить магмо-

образование. Подобного рода крупные структурные элементы геосинклинальных областей, наряду с непосредственно связанными с ними глубинными разломами, были названы А. В. Пейве *«глубинными тектоническими структурами»,* основными признаками которых являются:

1) большая глубина заложения и большое пространственное протяжение, вероятное проникновение в глубину на многие десятки и первые сотни километров, протяженность на поверхности на сотни и первые тысячи километров;

2) длительность развития, обнимающего несколько периодов или эр;

3) типоморфность формаций осадочных и магматических горных пород для положительных и отрицательных глубинных структурных форм.

В качестве структурных элементов геосинклинальных областей или входящих в их состав «складчатых сооружений» (геосинклинальных систем) можно рассматривать *структурно-формационные зоны.*

Геосинклинальные системы и области после складчатости иногда именуются соответственно *складчатыми системами* и *складчатыми областями.*

## Геосинклинальные системы

Геосинклинали и геоантиклинали представляют собой структурные элементы геосинклинальных систем. *Геосинклинали* — относительно опущенные, а *геоантиклинали* — относительно поднятые блоки в сложной мозаике глыб геосинклинальной системы или области, представленные существенно различными рядами формаций.

Под геосинклиналями Н. С. Шатский 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.

Геоантиклинали, по Н. С. Шатскому, представляют собой положительные аналоги геосинклиналей линейной или изометрической формы, сложенные формациями, резко отличающимися от формаций сопряженных с ними геосинклиналей. В разрезах геосинклиналей наблюдаются большие мощности и слабое развитие перерывов, в разрезах же геоантиклиналей — малые мощности, частые перерывы и несогласия. Специфичны формации геоантиклиналей: характерны карбонатные и эффузивные толщи.

Следует оговориться, что Н. С. Шатским рассматривались частные случаи; в действительности, формационные различия гео-

синклиналей и геоантиклиналей часто носят не абсолютный, а относительный характер. Так, например, некоторым геосинклиналям свойственны карбонатные формации (известняковые и карбонатные геосинклинали М. В. Муратова), а смежным геоантиклиналям — те же карбонатные формации, а также терригенные формации с меньшими мощностями и прерывистым разрезом. Как для линейных геосинклиналей, так и для линейных геоантиклиналей характерны выдержанность фаций по простиранию и быстрая их изменчивость вкрест простирания.

Широко применяются термины, обозначающие типы геосинклиналей, выделенные Г. Штилле.

*Ортогеосинклинали* — близ- и межконтинентальные геосинклинали, способные к альпинотипной складчатости и часто сопровождаемые начальным магматизмом; они обладают значительным продольным протяжением и являются материнскими по отношению к складчатым горным сооружениям; обычно состоят из продольных эвгеосинклинальных и миогеосинклинальных зон.

*Эвгеосинклинали* — наиболее подвижные зоны геосинклинальных систем, обычно прежде всего вовлекаемые в складчатость. Для них характерны начальный магматизм и вообще полимагматическое развитие, т. е. обычные проявления магматизма начального, синорогенного и субсеквентного.

*Миогеосинклинали* — более краевые, в большинстве своем миомагматические, вплоть до амагматических, продольные зоны геосинклинальных систем. Их известная меньшая геосинклинальность проявляется уже в том, что они обычно вовлекаются в складчатость после соседних с ними эвгеосинклинальных зон. По А. А. Богданову, для каждой эпохи (цикла) характерно свое расположение эв- и миогеосинклинальных зон и возможны случаи как непосредственного примыкания эвгеосинклиналей к рамам складчатости, так и, наоборот, центрального положения миогеосинклиналей. Термин *«лептогеосинклиналь»* получил широкое распространение для обозначения некомпенсированных глубоководных геосинклинальных прогибов.

Особая систематика геосинклиналей разработана М. Кэем на примере Североамериканского континента и на основе раннего определения Дж. Дэна, понимавшего под геосинклиналью любой бассейн с накоплением мощных осадочных толщ независимо от того, происходило ли здесь впоследствии горообразование. Под геосинклиналями М. Кэй понимал все поверхности регионального прогибания в пределах геосинклинальных областей.

Тектоническая специфичность Североамериканского континента заключается в том, что он представлен древней платформой с узкой линейной оторочкой геосинклинальных систем, соответствующей побережьям континента; геосинклинальные области в полном объеме (как, например, Урало-Тяньшанская) здесь не представлены. Эти особенности Северной Америки нашли отражение в классификации М. Кэя. Используя терминологию Г. Штилле, М. Кэй *ортогеосинклиналями* (настоящими геосин-

клиналями) называет краевые линейные или дугообразные геосинклинали. Ортогеосинклинали им делятся на *эвгеосинклинали* и *миогеосинклинали.*

М. Кэем выделялись эпиэвгеосинклинали, тафрогеосинклинали, экзогеосинклинали, автогеосинклинали, зевгеосинклинали и паралиогеосинклинали.

С развитием формационного метода при определениях геосинклиналей на первое место начинает выступать их вещественная характеристика, например: вулканогенные, аргиллитогенные, карбонатогенные, флишегенные, а также ранее у М. В. Муратова — флишевые, зеленокаменные и известняковые геосинклинали.

Часто геосинклинали различают по их положению в пространстве, например *континентальные, океанические,* внутриплатформенные, приплатформенные, междуплатформенные геосинклинали В. А. Апродова или океанические, окраинно-континентальные, межконтинентальные, внутриконтинентальные и континентально-блоковые ортогеосинклинали Г. М. Власова.

В верхнем структурном этаже геосинклинальных областей Н. С. Шатский различал *унаследованные мульды,* которые по структуре и в стратиграфическом отношении тесно связаны с нижним структурным ярусом, представляя лишь стадию длительного процесса развития, и *наложенные мульды,* располагающиеся с резким несогласием и перерывами на нижнем структурном ярусе без промежуточных толщ.

К верхнему структурному этажу относятся выделяемые М. Кэем *эпиэвгеосинклинали* — глубокоопущенные удлиненные впадины с ограниченным распространением вулканизма, перекрывающие эвгеосинклинали, *тафрогеосинклинали* — заполненные осадками глубокоопущенные рифтовые блоки, ограниченные одним или более крутопадающим сбросом, и *экзогеосинклинали* — лежащие внутри границ кратона и получающие материал осадков из нагорий в геосинклинальных поясах.

### Эпикратонные геосинклинальные области

Особым типом строения характеризуются *эпикратонные геосинклинальные области,* в пределах которых на глубине можно предполагать почти непрерывное распространение раздробленного архейского цоколя. Тектонотипом эпикратонной геосинклинальной области можно считать Верхоянско-Чукотскую область на Северо-Востоке СССР. Для этой области характерны почти непрерывный разрез от верхнего протерозоя до верхов палеозоя, а местами до мезозоя, простое строение прогибов и поднятий, протягивающихся на многие сотни километров, напряженная складчатость и пояса гранитных плутонов вблизи разломов, однообразный состав распространенных на большой территории карбонатных и песчано-сланцевых толщ при незначительном участии траппов.

На основании сказанного можно прийти к выводу, что в пределах геосинклинальных областей намечается возможность выделения по формационному составу, ассоциациям и последовательности формаций структурных элементов разного ранга. Задачу выделения структурных элементов геосинклинальной области можно сопоставить с проблемой стратиграфического расчленения гипергенной оболочки. В обоих случаях речь идет о проведении границ, выделении тел, установлении их рангов, разбиении (или ранжировании) пространства. Хотя стратиграфическая задача более проста, так как может быть сведена к разбиению прямолинейного отрезка, при ее решении значительно больше внимания и усилий, чем при тектоническом районировании, уделяется разработке принципов расчленения и уточнению положения отдельных границ. Думается, что опыт стратиграфов в этом отношении должен быть полностью учтен геологами-тектонистами.

Накоплено огромное количество так называемого «фактического материала», имеющего прямое или косвенное отношение к тектонике геосинклинальных областей. При геологическом картировании и специальных тематических исследованиях описано неисчислимое количество различных дислокаций, структурных форм и разрезов и т. д. По объему этот фактический материал часто считается достаточным и даже избыточным для многих тектонических построений, в том числе и для тектонического районирования. Однако это не так. Для расчленения геосинклинальной области на структурные элементы нужны специальные исследования (определения, измерения, описания), проведенные по методике, разработанной в соответствии с принятыми принципами районирования. Если мы принимаем формационный (вещественный) принцип, то основу районирования составляют выделение формаций, их классификация, установление их последовательности (рядов) и ассоциаций.

## Представление о развитии геосинклинальных областей

Теория развития геосинклинальных областей в СССР была разработана А. Д. Архангельским и его учениками. Эта теория раскрывает возможность реконструкции предполагаемых причин, приводящих к появлению свойственных геосинклинальным областям ассоциаций формаций и структур, их генетическую общность и особенности, исторические последовательности и причинно-следственные связи. Все это способствует лучшему пониманию чисто пространственных отношений между телами и структурами, образующими геосинклинальную область, а следовательно, определению направлений поисков полезных ископаемых. Совершенно прав был А. А. Богданов (1965 г.), отметивший, что именно этим учением успешно пользуются все советские геологи как при своих региональных теоретических, так и практических работах.

Представления А. Д. Архангельского о геосинклинальных областях были изложены в заключительной главе крупной моногра-

фии (подготовленной к XVII сессии Международного геологического конгресса в Москве в 1937 г.), представлявшей собой первое обстоятельное описание геологического строения территории СССР в целом и сопровождавшейся первым атласом палеогеографических схем. Таким образом, в основу разработки теоретических представлений о развитии геосинклинальных областей лег огромный фактический материал, обобщенный впервые для всей территории нашей страны. В качестве основы выделения геосинклинальных областей были прежде всего использованы данные о составе осадочных толщ. Были рассмотрены различные по положению и возрасту геосинклинальные области, сделаны выводы по особенностям их геологического развития. Геосинклинальные области были охарактеризованы как «такие участки земной коры, которым свойственна особенно сильная и многообразная подвижность. Колебательные вертикальные движения, обычно называемые эпейрогеническими, в этих областях имеют относительно очень большие 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 распадение геосинклинальных областей на ряд впадин (геосинклиналей) и поднятых глыб (геоантиклиналей), что обусловливает возникновение резко выраженного рельефа поверхности, который характерен для геосинклинальных областей. Особенно характерными для последних являются движения, обусловливающие возникновение складчатости в слагающих их породах. Геосинклинальным областям также свойственно весьма широкое развитие вулканизма, проявляющегося как в эффузивной, так и в интрузивной форме. В связи с наличием резко выраженного рельефа (существованием горных массивов) отложение осадков во впадинах геосинклинальной области, будут ли они заняты морем или расположены на суше, совершается особенно интенсивно и накопляются особенно мощные толщи осадочных пород» [«Краткий очерк...,» 1937, с. 283].

А. Д. Архангельский считал, что геосинклинальные области не являлись постоянно существующими структурными элементами гипергенной оболочки; они появлялись и исчезали в ходе геологического развития. После складкообразования геосинклинальные области утрачивают подвижность и, меняя свои свойства, превращаются в платформы. Имеет место и обратный переход платформ в геосинклинальные области (например, Донецкий бассейн, возникший в теле Восточно-Европейской платформы в среднем палеозое, Верхоянская геосинклиналь, развившаяся на окраинном участке древней Сибирской платформы, и т. д.). Развитие геосинклиналей обнаруживает цикличность, причем первая половина тектонического цикла характеризуется опусканиями, распространяющимися от геосинклиналей к платформам, а вторая половина — сменой опусканий поднятиями, которые начинаются

в центральной части геосинклинальных областей и отсюда распространяются к платформам.

«Складчатость во времени оказывается теснейшим образом связанной с поднятиями; это дает основания считать, что между обоими явлениями имеется причинная связь» [«Краткий очерк...», 1937, с. 287]. Складкообразование — длительный процесс. Представление о фазах складчатости как о явлении, имеющем широкое мировое распространение, не обосновано. Фазы могут иметь узкое местное значение. Местное значение могут иметь также целые тектонические циклы.

Закономерно связан с развитием геосинклиналей вулканизм. «Первой фазе тектонического цикла — опусканиям — отвечает в основном эффузивная деятельность, а вторая характеризуется, главным образом, интрузиями» [«Краткий очерк...», 1937, с. 288].

Обусловленность историко-геологических построений и всей обрисованной А. Д. Архангельским многогранной картины развития геосинклинальных областей взаимоотношениями и составом геологических тел, слагающих эти области, иллюстрируется таблицей.

Со времени появления работы А. Д. Архангельского и его соавторов прошло более 50 лет. За это время неизмеримо возросла геологическая изученность континентов, в частности областей геосинклинального строения, и значительно изменились представления об эволюции геосинклинального процесса (см. таблицу, пункты 8 и 10) и о структурных преобразованиях (изменения структурного плана, эволюция и новообразование структурных форм) геосинклинальных областей (см. таблицу, пункты 9 и 11).

Позднее широкое развитие получили представления о последовательности событий геосинклинального процесса или, как часто говорят, о его цикличности. Здесь, конечно, речь идет не о цикличности как повторяемости, а о цикличности как завершенном процессе, состоящем из ряда последовательных стадий.

В развитии геосинклинальных систем и областей различают обычно два этапа — этап геосинклинального погружения и орогенный этап (главный геосинклинальный и теликогеосинклинальный этапы М. В. Муратова).

Т. Кобаяси весь цикл геологического развития называл *циклом орогенеза, который разделялся на проорогенез* (стадия доорогенического складчатого эпейрогенеза), *эворогенез* (или собственно орогенез), означающий складкообразование, и *метаорогенез* (послескладчатый эпейрогенез).

Цикл развития геосинклинальных систем и областей непрерывно связан с эволюцией магматизма. Хорошо известна схема Г. Штилле, выделявшего начальный (инициальный) магматизм — собственно геосинклинальный магматизм, в основном эффузивный и подводный, характерный только для эвгеосинклиналей, синорогенный плутонизм, разделяющийся на высокоорогенный, при котором магма тесно связана с орогеническими (в смысле — складкообразующими) процессами и потому при затвердении прини-

**Сопоставление производных признаков геосинклинальных областей (по А. Д. Архангельскому) с определяющими их «базисными» признаками**

| Производные признаки | Базисные признаки |
|---|---|
| 1. Относительно большие скорости и амплитуды вертикальных движений; движения глыб с различной быстротой и иногда в различных направлениях | Большие мощности формаций по сравнению с синхронными формациями платформ. Резкие различия мощностей одноименных стратиграфических подразделений на смежных блоках, разделенных разломами, а также выпадение из разрезов в некоторых блоках тех же подразделений с размывом нижележащих горизонтов |
| 2. Резко выраженный рельеф | То же и наличие грубообломочных толщ (конгломератов из местного материала), граувакковых толщ, дислокаций, подводно-оползневый генезис которых предполагается, и т. д. |
| 3. Движения, обусловливающие возникновение складчатости | Складчатая структура слоистых толщ. Искажение мощностей и перераспределение вещества в складках, позволяющее предполагать, что образование складки связано с механическими воздействиями и что они не являются складками облекания или уплотнения |
| 4. Широкое развитие вулканизма, проявляющееся как в эффузивной, так и в интрузивной форме | Широкое по сравнению с платформами распространение вулканогенных толщ, а также интрузивных магматических тел |
| 5. Утрата подвижности после складкообразования и превращения в платформу | Наличие, по крайней мере, двух структурных этажей — нижнего со складчатой структурой и геосинклинальным типом формаций и верхнего, представляющего собой пологозалегающий чехол, состоящий из слабометаморфизованных осадочных толщ |
| 6. Имеет место обратный переход платформы в геосинклинальные области | В основании геосинклинального ряда осадочных формаций обнаруживаются формации, не отличимые (или сходные) от одноименных формаций смежной платформенной области |
| 7. Развитие геосинклинали обнаруживает цикличность | Вертикальные ряды геосинклиналей обнаруживают общее сходство и не содержат повторяющихся формаций |
| 8. Первая половина цикла характеризуется опусканиями. . ., | Нижняя половина формационного ряда представлена осадочными и осадочно-вулканогенными формациями преимущественно морского происхождения и большой мощности |
| 9. . . .распространяющимися от геосинклинали к платформе, | Краевые прогибы, занимающие окраины смежных платформ, представлены мощными, но значительно более молодыми формациями, чем формации нижней части формационного вертикального ряда геосинклинали |

Продолжение

| Производные признаки | Базисные признаки |
|---|---|
| 10. ..., а вторая половина сменой опусканий поднятиями | Верхняя половина вертикального формационного ряда представлена формациями, не обладающими сплошным распространением, в которых кверху возрастает роль грубообломочного материала (моласса) |
| 11. ..., которые начинаются в центральной части геосинклинальной области и распространяются к платформе | Формирование отложений, выполняющих краевые прогибы, заканчивается позднее, чем формирование отложений, образующих складчатые сооружения внутренних частей геосинклинальной области |

мает гнейсовую структуру, и позднеорогенный (подвижная, преимущественно только кислая магма, структуры гранитные). Кроме того, им выделяется платформенный, относящийся в основном к эпохе становления платформы, сиалический вулканизм (субсеквентный), иногда чередующийся во времени с интерцендентными сиалическими плутоническими процессами. Наконец, выделяется конечный, или финальный, вулканизм, представленный основными (преобладающие) и кислыми излияниями. Г. Штилле в соответствии со своим представлением о кратковременной орогенической фазе подчеркивает кратковременность связанного с ней синорогенного магматизма; синорогенный и субсеквентный магматизм он образно называет сиалическим «интермеццо» в общем развитии магматизма.

Г. Штилле, сопоставляя начальный магматизм с геосинклинальным состоянием, синорогенный — с орогенезом (в смысле складчатости), субсеквентный — с квазикратонным состоянием (состояние, при котором возможны только германотипная складчатость, магматизм сиалический субсеквентный, но не конечный; ранняя консолидация с «живостью» оро- и эпейрогенезов) и конечный — с вполне кратонным состоянием, ввел понятие *о тектономагматическом цикле.*

Однако с появлением учения о магматических формациях стало ясно, что изложенные представления не отвечают современному уровню исследования магматических пород и их распределению в структуре геосинклинальных областей. Так, Н. А. Штрейс (1967 г.) отмечает, что формирование гранитоидов является не кратковременным, а соразмерным по длительности с осадкообразованием процессом, охватывающим всю историю развития геосинклиналей. Процессы формирования гранитоидов, а также явления регионального метаморфизма протекают параллельно с проявлением в геосинклинальных формациях инициального магматизма и в конце концов распространяются на все пространство геосинклинальной системы. Фазы складчатости (по Г. Штилле — орогенеза) не рождают плутонизм, а изменяют условия проницае-

мости, способствуя становлению гранитоидных тел. С фазой складчатости, по Н. А. Штрейсу, следует связывать не гранитоидный магматизм, а оживление гипербазитовых протрузий в связи с омоложением разломов.

Сам Г. Штилле, находясь перед необходимостью объяснения новых фактов, ввел в 1950 г. понятие о «продленном начальном магматизме», совершенно дезорганизующее классическое представление о тектоническом цикле. Так, «продленный начальный магматизм», характеризуясь «начальными по типу и происхождению породами», распространяется до главной фазы складчатости и позднее ее, т. е. перекрывает во времени не только синорогенный, но и субсеквентный магматизм. При такой ситуации утрачивается смысл разделения инициального, синорогенного и субсеквентного магматизма как последовательных во времени этапов развития.

Сопоставляя формационные ряды в их латеральной последовательности, можно прийти к выводу не только о существовании геосинклиналей и других структурных элементов, занимающих в процессе развития геосинклинальной области фиксированное площадное положение, но и об изменениях структурного плана (например, миграции геосинклинали), преобразовании геосинклиналей в геоантиклинали и, наоборот, заложении новых (новообразованных) прогибов и т. д.

Можно привести два противоположных примера развития отдельных геосинклиналей. В первом случае границы геосинклинали оставались фиксированными, во втором — развитие геосинклинали сопровождалось преобразованиями структурного плана, в частности миграцией прогибов. В качестве первого примера приведем зеленокаменную геосинклиналь Урала, в качестве второго — флишевую геосинклиналь Восточных Карпат в соответствии с описанием М. В. Муратова.

Сравнение этих двух примеров показывает существенное различие развития обеих геосинклиналей. В частности, в первом случае геосинклиналь на всех этапах развивалась строго в пределах двух глубинных разломов. Границы такой геосинклинали проводятся однозначно и объективно. Во втором случае контуры геосинклинали во времени изменялись, следовательно, не совпадают и контуры образующих ее формаций. Определение границы такой геосинклинали приобретает условный характер. Два охарактеризованных типа развития свойственны не только единичным геосинклиналям, но и целым геосинклинальным системам (областям).

В качестве примера развития геосинклинальной области без существенного изменения структурного плана можно привести Саланро-Саянскую область, а в качестве примера геосинклинальной области с изменяющимися контурами структурных элементов — располагающийся в пределах СССР участок Средиземноморской геосинклинальной области, тектоническое развитие которого характеризовалось распадом крупных структурных форм на мелкие, объединением мелких форм в крупные, разрастанием, наложением

и т. д. Для обозначения различных форм, сопровождающих это геосинклинальное развитие, М. В. Муратов применил термины «кордильера», «геосинклинали» первого и второго типов, «парагеосинклинали» первого и второго типов, «геоантиклинали» первого и второго типов, флишевые, зеленокаменные и известняковые геосинклинали.

---

Может создаться парадоксальное впечатление, что изучение структуры геосинклинальных областей (расчленение ее на структурные элементы) встречается с бóльшими трудностями, чем изучение истории развития. Во всяком случае структурные элементы выделяются с большим трудом и условно, а развитие описывается с относительной легкостью и более отчетливо подразделяется на стадии и этапы. Причина заключается в том, что в первом случае мы имеем дело с конкретными областями и наше суждение об этих конкретных областях полностью ограничено данными исследований, наблюдениями, определениями, измерениями и т. д., во втором же случае мы имеем дело с гипотезами — историко-геологическими реконструкциями, при которых степень отчетливости границ между стадиями и этапами полностью зависит от наших интерпретаций хода процесса, которые могут быть существенно различными. Вспомним, например, что одно и то же явление — угловое несогласие — при одном подходе истолковывается как след катастрофически быстрых орогенических движений, а при другом подходе — как результат размыва длительно формировавшейся складчатой структуры и перекрытия ее молодыми толщами осадочных пород. Возникает вопрос: почему реконструкции истории развития, неизбежно содержащие в себе субъективные интерпретации наблюдаемых явлений, в геологических исследованиях занимают столь значительное место? Действительно, практические нужды человечества ориентируют его на поиски полезных ископаемых, с чем связано решение чисто пространственных задач — различение стратиграфических и структурных подразделений. Что же толкает геолога на изучение последовательности и связей событий далекого геологического прошлого, когда заранее ясна невозможность достижения однозначных и вполне объективных представлений, которые к тому же не могут быть проверены экспериментально? Думается, что здесь дело заключается в специфическом характере объектов наших исследований. Имея в виду главным образом изучение пространственных отношений геологических тел, структурных форм и т. д., мы не имеем возможности проводить наблюдения и измерения в любой точке исследуемого нами пространства. Гипергенная оболочка, если можно так выразиться, «непроходима» для геолога и не просматривается им 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 по-

верхностей (район со сплошной обнаженностью, обнажения в обрывах), но никогда в крупных сплошных объемах геологического пространства. В результате получается так, что собранные нами данные характеризуют строение изучаемого района (объема) весьма неполно, а часто настолько неполно, что соотношения между телами, охарактеризованными точками наблюдений, остаются неясными или допускают множество противоречивых толкований. Здесь нам на помощь приходят системы рабочих гипотез, дающих возможность предполагать наиболее вероятные связи между отдельными точками наблюдений. Эта система рабочих гипотез включает представления о причинно-следственных связях, а значит, и о последовательности событий, с которыми связано образование наблюдаемых объемов. Гипотезы о последовательности событий помогают нам высказывать предположения о пространственных отношениях, которые уже могут быть непосредственно проверены наблюдениями (разведочными работами, бурением, геофизическими измерениями). Таким образом, система рабочих гипотез, рисующих последовательность событий геологической истории, помогает прийти к правильному решению в структурных геологических построениях, а следовательно, и в поисках полезных ископаемых.

Из сказанного следует, что историко-геологические исследования и концепции играют весьма важную роль в изучении строения гипергенной оболочки, но не могут являться самоцелью. Для построения и совершенствования методики необходимо проводить четкую грань между геологическими наблюдениями и собственно структурными построениями, с одной стороны, и с системами вспомогательных историко-геологических концепций — с другой. В методологическом отношении об этом шла речь в разделе о зет-системах.

«Континентальная» теория геосинклиналей А. А. Борисяка, Г. Штилле, А. Д. Архангельского, Л. Кобера и других ученых первой половины XX в. была основана на исследованиях осадочных и магматических тел, их последовательностей, выводах о развитии и установлении законов и «канонов». Материал был территориально ограничен, далеко недостаточно подкреплен геофизикой, и поэтому в процессе дальнейших исследований создавались новые схемы развития, отмирали «каноны» и устанавливалось весьма большое разнообразие геосинклиналей на континентах. Всегда обнаруживались различия между европейской и американской концепциями, так как в первом случае геосинклинали включались в тело континента, во втором — лишь окаймляли его. Позднее наметилась особая роль Тихоокеанского пояса. Далее при исследовании геосинклиналей, уходя в глубь земных слоев, мы сталкиваемся с огромным глубинным пространством метаморфизма, где исчезали многие черты «фанерозойской определенности». Так или иначе создание теории шло от конкретных исследований состава и структуры определенных геологических объектов.

С появлением идей плитной тектоники были оставлены в сто-

роне структурно-вещественные истоки развития учения о геосинклиналях. В работах Д. Дьюи и Д. Берда в качестве основного недостатка существовавших представлений о развитии геосинклиналей было указано, что модели «не были сопоставлены с современными тектоническими процессами» [«Новая..., 1974, с. 180] и что существовали «неактуалистические модели образования древних горных поясов» [1974, с. 192]. Это утверждение, с одной стороны, в корне неверно, так как представления о развитии геосинклиналей основывались (во всяком случае, у упомянутых выше ученых) на изучении осадков с применением принципа актуализма в необходимых ретроспективных реконструкциях. Сопоставление же развития геосинклиналей в целом с их огромным «тоннажем» и длительностью развития с современными процессами вообще невозможно, так как в настоящем мы наблюдаем лишь тонкую оболочку от поверхности Земли до глубин, достигнутых бурением, совершенно несоразмерных с глубинами проникновения мыслимых геосинклинальных процессов; исследования же геологических состояний и изменений Земли велись лишь немногие сотни лет при продолжительности геосинклинальных процессов в десятки и сотни миллионов лет. В отличие от «классической» теории геосинклиналей в разработке новых «плитных» ее вариантов мысль развивается не от природных объектов к теоретическим выводам, а от заранее заданных идей. В первом случае мы имеем эмпирические обобщения, во втором — развитие многозвеньевых идей, интересных как таковые, но нуждающихся в методически корректном анализе представительных примеров.

Особо стоит вопрос о современных геосинклинальных системах (областях). Очевидно, современными геосинклинальными системами (областями) мы можем считать такие, в которых уже накопились формации, образующие геосинклинальные ряды и в которых сохраняются условия для дальнейшего формирования складчатого геосинклинального комплекса как законченной геологической структуры. Такие условия должны прежде всего заключаться в наличии контрастного рельефа и значительных скоростей дифференцированных вертикальных тектонических движений. Мобильность современной геосинклинальной области может подчеркиваться высокой сейсмичностью, а проницаемость — наличием вулканов.

В качестве примеров современных геосинклинальных систем (областей) могут быть приведены: область Средиземноморья, Кавказ, Камчатка. Вопрос о возможности отнесения к современным геосинклинальным системам островных дуг и глубоководных желобов рассматривается ниже.

В концепции развития геосинклиналей на рифтовых зонах, рассматриваемых как результат разрыва и раздвижения, отмечается следующая последовательность стадий: 1) «в самые ранние фазы раскалывания континента, по мере того как подошва литосферы воздымается, происходит сводообразование и растяжение континентальной коры в результате внедрения вулканических некков и образование гравитационных сбросов; 2) возникает сложный гра-

бен с обломочным материалом и континентальным основанием (эпиэвгеосинклинальным), извергаются смешанные кислые и основные лавы (пример — Бриансонне); 3) продолжается растягивание континентальной коры с вероятным мегабудинажем и внедрением симатических призм; 4) последовательно надстраиваются окраины плиты, и возникает раскрывающийся океан; вулканизм становится типично океаническим; прогрессирует утонение континентальной коры; ложе грабенов становится симатическим; 5) по мере наращивания коры и расширения океана «эвгеосинклинальная стадия сменяется новым режимом, связанным с появлением четко выраженной континентальной окраины» [«Новая...», 1974, с. 184—185]; 6) на континентальном подножии или развиваются паралиогеосинклинали, переходящие по латерали в некомпенсированные лептогеосинклинали с пелагическими карбонатными осадками, или миогеосинклинали; лептогеосинклинали «накладываются на новое океаническое ложе, создаваемое в ходе наращивания плиты» [«Новая...», 1974, с. 185]. В этой системе эвгеосинклинали располагаются полностью на «океанической коре» и включают континентальное подножие, основной океанический бассейн, островные дуги и идиогеосинклинали.

При «далеко зашедшей» стадии расширения океанов возникают океанические желоба и происходит поглощение плит. Здесь стадийность геосинклинального процесса такова: 1) «образование на внутренней стороне желоба фации чешуйчатых глин за счет соскабливания с погружающейся литосферы образований первого и второго океанических слоев и обваливания внутренней стенки желоба» [«Новая...», 1974, с. 185]; 2) деформация при высоких давлениях с образованием глаукофанового пояса; 3) смятие осадков континентального подножия и смещение к континенту высокотемпературных метаморфических зон, разрушение подножия, разрастание орогена к континенту, иногда (Аппалачи) с образованием между ортотектоническим фронтом и континентом прогиба с синорогенным флишем (кинегеоклиналь); 4) образование экзогеосинклинали при достижении окраины континента и разрушения кинегеоклинали; 5) образование зевгеоклинали после стабилизации орогена. При развитии желоба в открытом океане кинегеоклинали заменяются идиогеосинклиналями (малыми океаническими бассейнами, как, например, Японское море).

Особо выделяются два типа горных поясов. Первый — «кордильерский», связанный с островной дугой — кордильерой и характеризующийся парной метаморфической зональностью (ранний голубосланцевый пояс на океанической стороне и поздний высокотемпературный на континентальной) и парными миогеосинклинально-эвгеосинклинальными системами (шельф и область между краем шельфа и желобом); второй — столкновение островной дуги с континентом или континента с континентом с сиалическими корнями, возникшими путем поддвигания континента и утолщения коры и с выдавливанием офиолитов при столкновении из желоба. Возможны комбинации обоих механизмов [«Новая...», 1974]. У ав-

торов данного труда (увы, не впервые, и не только у них) мы встречаем недопустимую в научных высказываниях безапелляционность и голословность в утверждении недоказанных вещей. Без всякой аргументации они пишут: «Мы *полностью отвергаем* обычно принимаемое представление о заложенных целиком на сиалической коре миогеосинклинальных и эвгеосинклинальных парах... Мы считаем, что такие орогены, как *Аппалачский*, *Каледонский* и Уральский, прошли в своем развитии через расширение и сокращение океанических бассейнов... *Несомненно*, сейчас происходит поглощение континентальной коры вдоль зоны разломов Загрос и под Гималаями, однако этот процесс наступил лишь после того, как была полностью вытеснена океаническая литосфера Тетиса...» и т. д.

Заметим, что существует много подобных гипотез, которые так же, как и гипотезы авторов упомянутого труда, нуждаются в проверке. Вообще же для сторонников ортодоксального варианта тектоники плит характерно утрированное предпочтение, отдаваемое дедуктивному методу (например, У. Дикинсон) [«Новая...», 1974], который хорош лишь в разумном сочетании с индуктивным; безупречные в математике выводы, получаемые чисто дедуктивным путем, в естественных науках часто или «разбиваются о природу», или уводят исследователя в сферу практически непроверяемых гипотез; иными словами, отрывают науку от практики.

## ПЛАТФОРМЕННЫЕ ОБЛАСТИ

*Древние платформы* выступают как структурные элементы гипергенной оболочки, обладающие определенным составом и специфической структурой. Состав и структура древних платформ определяются наличием двух структурных ярусов — кристаллического фундамента и чехла. Размеры платформ составляют: Восточно-Европейской 2200×2800 км, Сибирской 2000×2500 км, Китайской 2000×3000 км, Североамериканской 3500×4000 км, Южноамериканской 3500×4000 км, Африкано-Аравийской 7000××7000 км, Индостанской 2000×3000 км и Австралийской 3500××2000 км. Все перечисленные древние платформы, таким образом, принадлежат к первому порядку двумерных геологических тел. Крупнейшие срединные массивы геосинклинальных областей («малые платформы») по структуре и составу близки к древним платформам, но отличаются от них по размерам. Размеры Колымо-Омолонского массива составляют 1000×600 км, Таримского 1500×500 км, Тибетского 1400×400 км, Индо-Китайского 1000××600 км, т. е. они относятся ко второму порядку двумерных тел.

В плане древние платформы выглядят как неправильные невыпуклые многоугольники, стороны которых представляют собой (протяжение до нескольких тысяч километров) отрезки, соответствующие, по Н. С. Шатскому, крупным глубинным разломам, ограничивающим платформу; эти разломы могут быть названы *краевыми швами*. Во внутренних областях многоугольников и на продолжении их входящих углов располагаются зоны дроблe-

ния фундамента платформ и сопряженные с ними системы дислокаций в чехлах. Интересно, что представления о «входящих» углах платформ, развитые Н. С. Шатским в 1946—1947 гг., нашли своеобразное отображение в построениях «тектоники литосферных плит». Входящие углы литосферных плит были названы С. Кери *сфенохазмами*; «сфенохазм — это треугольной формы прореха, заполненная симатической корой, разделяющая две «сиалические глыбы со сбросовыми ограничениями, сходящимися в одной точке» [«Проблемы...», 1981, с. 207]. Образование сфенохазм связывается в построениях «тектоники литосферных плит» с вращением блоков. К входящим углам Н. С. Шатского относится система Вичита на Североамериканской платформе, система Донбасса на Восточно-Европейской платформе, Вилюйская синеклиза Сибирской платформы и др., к сфенохазмам же относятся Аденский, Бискайский, Тирренский, Лигурийский и другие блоки.

Древние платформы всегда ограничены палеозойскими или более молодыми геосинклинальными системами. Поверхность фундамента древних платформ при переходе к этим ограничивающим геосинклинальным системам резко погружается. Таким образом, каждая древняя платформа по поверхности фундамента представляет собой приподнятый многоугольный блок. При переходе через латеральные границы этого блока отложения платформенного чехла или его части, по возрасту соответствующие ограничивающему платформу складчатому сооружению (геосинклинальной системе), испытывают резкие изменения формационного состава. Таким образом, ограничения древних платформ имеют ясное структурное (по поверхности фундамента) и формационное (по осадочным толщам чехла) выражение.

### Фундаменты древних платформ

Специфическими являются условия становления кристаллического фундамента древней платформы как монолитного жесткого цоколя. Условия эти были, по-видимому, характерны для докембрия с его особым термобарическим режимом, широким развитием процессов метаморфизма и гранитизации, а также с длительным поднятием территорий древних платформ вслед за эпохой карельской складчатости. Позднее в истории развития гипергенной оболочки такие условия не повторялись.

Мантия Земли должна была за сравнительно короткий промежуток времени израсходовать огромные запасы тепла, за счет которых «слой» архейских пород мощностью 15—25 км почти на всей территории Сибирской платформы в значительной степени превратился в граниты и гнейсы. Стабильность, обретенная платформой на длительное время (в течение 1700 млн. лет, т. е. с начала позднего протерозоя на жестком фундаменте формируется неметаморфизованный и слабодислоцированный платформенный чехол), обязана, по-видимому, не новым «жестким» свойствам этих пород, которые могли бы снова измениться в обратную сторону

при соответствующем изменении обстановки, а исчерпанию на большую глубину энергии в связи со становлением архейского ядра.

Важнейшую и наиболее полную геометрическую характеристику древних платформ дают структурные карты поверхности фундамента, которые отражают, с одной стороны, глубины залегания фундамента, с другой — мощность платформенного чехла. Такие карты имеют большое практическое значение хотя бы потому, что позволяют оценить объемы осадочных слабометаморфизованных толщ чехла, с которым могут быть связаны перспективы поисков нефти и газа. Поэтому такие карты, наряду с другими данными, всегда кладутся в основу при прогнозировании этих полезных ископаемых. Как наиболее наглядные и экономичные изображения структуры платформ, такие карты вошли в состав крупнейших тектонических карт последнего тридцатилетия. Поверхность фундамента Восточно-Европейской платформы хорошо изучена в связи с применением опорного бурения и большого объема геофизических работ.

На примере Восточно-Европейской платформы видно, что фундамент ее сильно расчленен и образует поднятия и впадины значительных размеров. Так, например, Прикаспийская впадина, занимающая юго-восточный угол платформы, имеет размеры 700×$\times$900 км, Московская впадина — 700×1200 км.

Помимо этих крупных, почти изометричных впадин по поверхности фундамента выделяются узкие удлиненные впадины — троги, такие как Днепровско-Донецкая, Пачелмская и др. Превышения поднятий над впадинами также весьма значительны. Так, глубина Прикаспийской впадины не менее 15 км, глубина Московской впадины относительно обрамляющих ее Воронежского поднятия и Балтийского щита — более 3 км, глубина Днепровско-Донецкой впадины относительно обрамляющих поднятий более 5 км, Пачелмской — 2 км.

В начале формирования чехла рельеф фундамента был весьма выровненным и его расчленение происходило в основном в процессе накопления пород чехла. Перерыв между фундаментом и чехлом часто бывает «скользящим» в возрастном отношении, а поверхность, изображаемая на картах рельефа фундамента, не может рассматриваться как изохронная. Особенно ясно это проявляется на Сибирской платформе, на юге которой фундамент значительно моложе, чем на востоке.

По положению поверхности фундамента в пределах древних платформ выделяются щиты и плиты. Основные понятия о них даны в главе II, а различные толкования этих терминов можно найти в справочниках. Термин «плита» применяется для обозначения молодой платформы в целом или крупной ее части (например, Западно-Сибирская плита, Туранская плита, Скифская плита). Размеры плит, по подсчетам Н. И. Буялова, Е. В. Захарова и В. Н. Соболевской, характеризуются следующими значениями. Плита Восточно-Европейской платформы имеет площадь

4200 тыс. км², плита Сибирской платформы 3100 тыс. км², Западно-Сибирская плита 2800 тыс. км² и Скифско-Туранская 1800 тыс. км². Площадь неглубокого залегания фундамента или малой мощности платформенного чехла (до отметки 1 км) соответственно составляют для этих плит 33, 14, 21 и 19 %, площади глубокого залегания фундамента (1—3 км) — 38, 39, 39 и 46 %, а площади очень глубокого залегания (3 км) соответственно 29, 47, 40 и 35 %. Площадь эпипалеозойской плиты Австралии составляет 3000 тыс. км².

### Генетические и морфологические отличия молодых платформ от древних

Протерозойско-палеозойские геосинклинальные области после завершения геосинклинального развития с начала юры, с начала пермского периода, а местами (Англия) даже с каменноугольного периода частично вовлекаются в обширные прогибания. В результате этих прогибаний на протерозойско-палеозойском складчатом цоколе формируется платформенный чехол. Контуры зон прогибаний, как правило, не считаются с контурами структурных элементов фундамента, перекрывают геосинклинальные системы различного возраста, секут их границы и даже частично захватывают площади древних платформ. Таким образом, возникают *молодые платформы*. Структурная история таких сравнительно недавно успокоившихся участков глубоко и принципиально отлична от структурной истории древних платформ.

Тогда как чехлы древних платформ, как правило, отделены от фундаментов значительными перерывами, а структурные формы чехлов не обнаруживают преемственности от структуры фундамента, для чехлов молодых платформ часто усматриваются структурные и генетические связи с геосинклинальными комплексами их основания.

Существенны также морфологические различия древних и молодых платформ. Древние платформы всегда ограничены относительно молодыми (неохронными) складчатыми геосинклинальными системами, в которых докембрийский фундамент опускается на большие глубины. Таким образом, древние платформы, если рассматривать поверхность фундамента, представляют собой крупные резко очерченные поднятия. В пределах древних платформ выделяются щиты, в которых фундамент на значительных площадях выходит на поверхность, и плиты, где фундамент покрыт платформенным чехлом различной мощности. Щиты всегда находятся внутри достаточно четких границ древних платформ. Применительно к молодым платформам понятие «щит» утрачивает свою четкость и пространственную определенность. Так, по отношению к Западно-Сибирской молодой платформе Урал представляет собой выступ ее складчатого основания, который можно уподобить щиту.

Западнее Урала располагается Восточно-Европейская платформа, значительные пространства которой сложены с поверхности палеозоем, т. е. отложениями, одновозрастными с породами фундамента Западно-Сибирской плиты. На Востоке, вдоль Енисея, из-под пород мезо-кайнозойского чехла выступают различные элементы Сибирской платформы (Енисейский кряж, Туруханское поднятие, Тунгусская синеклиза).

В качестве типичного примера «щита» молодой платформы указывают Центральный Казахстан, который по размерам, стратиграфии и даже отчасти по характеру ограничений вполне сопоставим с Балтийским щитом. Однако, считая выступы складчатого основания южного обрамления щитами по отношению к Западно-Сибирской плите, мы должны будем распространить это понятие на все палеозойские складчатые сооружения Средней Азии, Монголии и Китая. Таким образом, понятие «щит» в применении к молодым платформам расплывается и теряет свою пространственную и структурную определенность. Одновременно расплываются контуры платформы. Если быть последовательным в поисках границ той молодой платформы, к которой принадлежит Западно-Сибирская плита, и включить в эту «молодую платформу» ее щиты, то надо на юге дойти до Альпийско-Гималайской складчатой области, на востоке — до мезозойских складок Сихотэ-Алиня, а на севере — до кромки Арктического океанического блока.

Взятая в таких контурах молодая платформа включает области весьма разнообразного строения. Конкретный структурный смысл понятия «молодая платформа» будет при этом утрачен, само понятие станет относительным и сможет означать лишь все то, что находится вне зоны молодой мезо-кайнозойской складчатости. Поэтому надо иметь в виду, что понятие молодой платформы отличается от понятия древней платформы не только по возрастному, но и по структурному признаку. Вместе с тем современное состояние территорий древних и молодых платформ очень сходно, что находит отражение в их геофизических характеристиках, таких, как размах рельефа поверхности М, мощность коры, сейсмичность, измерение значений регионального гравитационного фона, что, однако, связано с преходящими особенностями земной коры, но не со структурными особенностями гипергенной оболочки.

Молодая платформа, понимаемая как структурный элемент гипергенной оболочки, выделяемый по вещественному (формационному) признаку, будет соответствовать платформенному чехлу мезо-кайнозойского, реже также позднепалеозойского возраста, латерально ограниченному или линией перехода платформенных формаций чехла в одновозрастные ему геосинклинальные формации прилегающей складчатой системы (граница второго рода), или линией выклинивания (граница первого рода).

Молодые платформы (эпипалеозойские плиты), имеющие границы только первого рода, В. Н. Соболевская назвала *огражден-*

*ными*. Они не примыкают к зонам альпийской складчатости и ограждены от влияния протекавших там складкообразовательных движений жесткими, уже консолидированными зонами более древних складчатых сооружений, выведенными на дневную поверхность. Примеры огражденных плит — Западно-Сибирская, Северо-Германская, Парижский бассейн, неогражденных плит — Туранская, Скифская и т. п.

При проведении границ молодых платформ по возрасту фундамента встречается ряд трудностей. Только вдоль границ второго рода (по чехлу) складчатые сооружения фундаментов молодых платформ дискордантно срезаются более молодыми складками, что А. Л. Яншин справедливо считает общим признаком для древних и молодых платформ. Однако если для древних платформ этот признак справедлив на всем их периметре, то для молодых платформ он справедлив только на отдельных отрезках, там, где чехол латерально переходит в одновозрастные с ним геосинклинальные образования.

Границы молодых платформ, проводимые по линиям сочленения докембрийского и палеозойского складчатых фундаментов, секут по живому месту тело чехла, тогда как границы платформ как геологических тел должны представлять собой зоны перехода формаций чехла в одновозрастные им формации прилегающих геосинклиналей (граница второго рода) или (только в случае молодых платформ) линии выклинивания чехла. В данном же случае мы имеем дело не с границей платформ, а с границами разновозрастных складчатых комплексов фундамента, и нам приходится признать, что молодая платформа (плита) может несколько перекрыть древнюю платформу, а некоторые участки ее границ могут располагаться внутри контура древней платформы. В некоторых случаях край древней платформы четко отражается в структуре чехла. Так, юго-западный край Восточно-Европейской платформы в пределах Польши выражен расположенной еще в пределах древней платформы краевой синклиналью и возникшим перед краем платформы узким глубоким Датско-Польским прогибом.

### Основные тектонические формы в чехлах платформ

В пределах плит выделяются синеклизы и антеклизы, которые являются длительно развивающимися структурными формами (длительность их развития измеряется периодами и эрами). Многообразие крупных структурных форм чехлов не исчерпывается синеклизами и антеклизами, представляющими синклинальные изгибы. В чехлах наблюдаются, кроме того, плоские участки — ступени и платообразные вершины платформенных сводов.

Синеклизе соответствует введенное М. Кэем понятие *автогеосинклинали* (самогеосинклинали), погружение которой протекало независимо и изолированно от погружений близко расположен-

ных более активных тектонических зон. Тектонотипом автогеосинклинали является Мичиганский бассейн Североамериканской платформы. *Зевгогеосинклинали* М. Кэя отличаются от автогеосинклиналей наличием прилежащих нагорий, с которых сносится обломочный материал. Тектонотипом зевгогеосинклинали являются бассейны Скалистых гор, образовавшиеся вследствие раздробления края платформы.

Остановимся на характеристике основных структурных форм в чехлах молодых платформ. Крупнейшей структурной формой является синклинальная линза, охватывающая в целом чехол молодой платформы. Для обозначения такой линзы нами был предложен термин *«геосинеклиза»* (например, Западно-Сибирская геосинеклиза), который в какой-то мере может отвечать термину М. Кэя *«паралиагеосинклиналь»* (прибрежная геосинклиналь), обозначающий геосинклинали, линейно вытянутые вдоль краев современного континента. К паралиагеосинклиналям принадлежат, например, впадины побережья Мексиканского залива и Атлантического побережья, заполненные мезозойскими и кайнозойскими отложениями, несогласно располагающимися на палеозойских складчатых сооружениях, а местами непосредственно на образованиях древней платформы. Если отвлечься от требования линейности, отражающего специфичность паралиагеосинклиналей Североамериканского континента, контуры которого определяются в основном очертаниями древней платформы, то к аналогам паралиагеосинклиналей как обширных мезо-кайнозойских впадин, располагающихся на фундаменте разного возраста, можно отнести Туранскую плиту, Прикаспийскую и Причерноморскую впадины.

Чехлы платформ в значительной степени нарушены дизъюнктивными дислокациями в районах проявлений магматизма (например, платформенные чехлы с траповыми формациями, районы распространения трубок взрыва), в окраинных раздробленных зонах платформ с контрастным тектоническим рельефом (Скалистые горы, Днепровско-Донецкая впадина), в авлакогенах; многочисленные сбросы неглубокого заложения развиты в солянокупольных областях платформ (Прикаспийская впадина). Обширные плоские участки платформ, лишенные на поверхности проявлений магматизма, такие, как Волго-Уральская антеклиза и Московская синеклиза на Восточно-Европейской платформе, ранее рассматривались как ненарушенные сбросами, что находило отражение на профильных разрезах этих территорий. Однако с развитием массового бурения в связи с разведкой и разработкой нефтяных и газовых месторождений в платформенных областях, начиная с конца 40-х годов, обнаруживается, что в структуре чехлов значительную роль играют дизъюнктивные дислокации даже на спокойных участках платформы.

Существование разломов в фундаментах молодых платформ и связь этих разломов с флексурными и антиклинальными изгибами слоев в чехле, а также наличие дизъюнктивных наруше-

ний и трещиноватости в чехле устанавливаются сейсморазведкой и исследованием кернов в районе Западно-Сибирской низменности. Такие же дислокации известны на Скифской и Туранской плитах.

Особое место в тектонике чехлов платформ занимают *авлакогены*, т. е. грабены, возникшие вдоль разломов цоколя на ранней стадии ее развития и заполненные отложениями платформенного чехла. Над авлакогенами в последующие эпохи развивались более широкие синеклизы. Термин «авлакоген» предложен Н. С. Шатским, который, однако, не успел опубликовать при жизни свои идеи об этих структурных формах. Теория авлакогенов была развита его учениками. А. А. Богданов отмечал, что, по Н. С. Шатскому, авлакогены следует определять как крупные линейно-ориентированные тектонические впадины, протягивающиеся на многие сотни километров и фиксирующие своим расположением направление систем гигантских разломов, рассекающих фундамент платформы. Авлакогены контролируют зоны накопления максимальных мощностей рифейских отложений, а также ранние стадии проявления вулканической деятельности. По бортам авлакогенов Восточно-Европейской платформы в наиболее древних (рифейских) отложениях чехла развиты пластовые тела лавовых пород габбро-диабазового ряда и туфогенные породы, распространенные шире и иногда выстилающие внутренние части авлакогенов. К авлакогенам на Восточно-Европейской платформе Н. С. Шатский относил Пачелмский прогиб, прогиб Большого Донбасса, Крестцовский прогиб и др. А. А. Богданов различал: *сквозные авлакогены*, разрезающие платформу от края к краю (Тиман), и *поперечные авлакогены*, входящие в платформу со стороны одного из краев.

### Краевые прогибы и краевые системы

По периферии платформ, местами вдоль ограничивающих их краевых швов, располагаются *краевые прогибы*, представляющие собой узкие (50—100 км) желоба, разделенные поперечными поднятиями и выполненные молассовыми, соленосными, угленосными формациями, как правило, не содержащими прослоев вулканогенных пород. Формирование краевых прогибов происходило одновременно с замыканием прилегающей к платформе геосинклинальной системы и поднятием горных хребтов и носило компенсационный характер. Предполагается, что краевые прогибы могут развиваться над краевыми швами и представлять собой, таким образом, подобие надразломных или шовных синклиналей. В отличие от зон перикратонных опусканий (по Е. В. Павловскому) или перикратонных прогибов (по А. А. Богданову), формирующихся синхронно со смежными геосинклинальными системами, краевые прогибы имеют сравнительно короткое время развития, равное одному периоду (Предуральский прогиб) или даже одной эпохе (Предкарпатский прогиб).

Краевые прогибы всегда имеют асимметричное строение. Внешние их крылья располагаются на платформенном основании, а во внутренних крыльях выполняющие прогиб молассовые формации переходят обычно во флишевые или флишоидные отложения геосинклиналей. Крылья, обращенные к платформе, сложены маломощными толщами платформенных осадков и осложнены пологими и флексурообразными складками платформенного типа. Крылья, обращенные к складчатой зоне, сложены мощными толщами геосинклинального типа и осложняются линейными складками, подчиненными общему простиранию складчатой зоны.

Название «краевой прогиб» само по себе не несет определенной смысловой нагрузки и могло бы обозначать любой прогиб, расположенный на краю чего-либо (в этом смысле термин «перикратонное опускание» значительно более ясен). Поэтому не удивительно, что существует большое количество толкований термина «краевой прогиб». На это обстоятельство обратил внимание В. Е. Руженцев. Он отметил, что область, которую принято называть краевым или передовым прогибом, можно рассматривать с трех точек зрения: геоморфологической, литологической и тектонической. В соответствии с этим различаются три понятия:

1) *предгорная депрессия* — понижение рельефа (включая и подводный), возникшее впереди горных цепей; центральные части депрессии совпадают с максимальными глубинами моря, но не обязательно с максимальными мощностями осадков;

2) *передовой прогиб* — зона максимального прогибания и аккумуляции терригенных толщ; зона эта может мигрировать на платформу, а выполняющие ее толщи могут претерпевать складчатость и образовывать новые горные сооружения;

3) *краевой синклинорий* — крупная синклиналь на границе платформенной и геосинклинальной областей.

Заслуживает внимания предложение Л. П. Зоненшайна, В. П. Поникарова, А. К. Уфлянда, выделяющих *краевые системы*, т. е. обширные структурные образования, располагающиеся по границе платформ и геосинклинальных областей, вовлеченные в прогибание в эпоху интенсивной тектонической активности смежных с ними геосинклинальных зон. Краевые прогибы занимают наиболее прогнутые части краевых систем. Краевые системы слагаются преимущественно платформенными формациями, также молассами, а в пригеосинклинальных частях иногда флишеподобными толщами. Краевые системы амагматичны. Хотя пригеосинклинальные части краевых систем в формационном и структурном отношениях приближаются к геосинклинальным, краевые системы целиком закладываются на платформенном основании. Краевые системы и краевые прогибы, рассматриваемые как конечная стадия их развития, проявляются вдоль линейных складчатых систем (Альпийская зона, Урал, Аппалачи).

Выделение краевых систем в качестве структурных элементов по формационному признаку не может быть осуществлено в силу

«неспецифичности» основной массы слагающих их платформенных формаций. Поэтому очень трудно предложить принцип ограничения краевых систем со стороны платформы. В этом смысле краевые прогибы обладают некоторым преимуществом. Они могут быть выделены в качестве структурного элемента гипергенной оболочки, поскольку обладают набором специфических формаций. Однако надежно оконтуренными они могут быть только со стороны геосинклинальной области. Со стороны платформ вследствие монотонности формационного состава их оконтуривание затруднительно.

Рассмотрение краевых прогибов и краевых систем в историческом аспекте также говорит о большей конкретности первого понятия. Краевые системы могут различаться в толщах любого возраста, по крайней мере, от протерозоя до неогена, краевые же прогибы возникают лишь, начиная со второй половины палеозоя при ограничении платформ герцинскими, мезозойскими или альпийскими складчатыми системами. С каледонидами и более древними складчатыми системами типичные краевые прогибы не связаны. Иными словами, краевые прогибы появляются на определенной стадии развития структуры гипергенной оболочки.

### Некоторые особенности развития чехлов платформ

Отложения чехла начинают накапливаться на фундаменте древней платформы после того, как фундамент консолидировался и процессы его метаморфизма и гранитизации прекратились. Однако в различных участках платформы формирование фундамента может закончиться в разное время и накопление чехла также может начаться разновременно. Например, на Сибирской платформе на склонах Анабарского массива происходило накопление чехла, в то время как на юге платформы продолжалось формирование фундамента. На Североамериканской платформе в гуронское время в центральной ее части формировался чехол, тогда как в Гренвильской зоне продолжалось формирование фундамента. Платформенный облик имеют ятулийские отложения Балтийского щита в пределах Карельского и Мурманского срединных массивов, разделяющих геосинклинальные системы карелид, в которых в то же время продолжалось формирование фундамента. Е. В. Павловский проводил параллель между гуроном и ятулием и справедливо подчеркивал близость их тектонических особенностей. Значительно шире распространен более молодой иотнийский чехол, но и во время его накопления продолжает формироваться фундамент, что находит отражение в образовании массивов рапакиви и других изверженных пород. Даже в послеиотнийское время (1420—900 млн. лет) местами продолжались внедрение гранитов, а также складчатость в иотнийских толщах («свеко-норвежская регенерация»). Эта обстановка сходна с тем, что мы наблюдаем на Сибирской платформе, где в этом же интервале времени на восточном склоне Алданского щита и на склонах Анабарского щита происходит формирование

платформенного чехла, а в Урикско-Ийском и Охотском грабенах одновозрастные осадки сминаются в складки и прорываются гранитами. К отложениям чехла, образовавшимся до времени завершения формирования фундамента в Южной Африке, относятся витватерсрандская и трансваальская системы.

Таким образом, по крайней мере, на нескольких платформах процесс перехода от этапа формирования фундамента к этапу формирования чехла был сложным и неравномерным. На Восточно-Европейской и Сибирской платформах можно проследить, что этот переход сопровождался раскалыванием фундамента. Вдоль разломов фундамента возникли узкие троги, заполнившиеся осадочным и вулканогенным материалом и представлявшие собой зачатки авлакогенов. Отложения авлакогенов на многих участках платформ оказались наиболее древними отложениями чехла. Например, наиболее древние отложения чехла Сибирской платформы известны в Улканском авлакогене, наиболее древние отложения Русской плиты (вне щитов) заполняют Пачелмский авлакоген. По А. С. Новиковой, одновременно с формированием авлакогенов на разделяющих их пространствах (*остаточные щиты*) происходил процесс гранитообразования, т. е. по существу продолжалось формирование фундамента. Это лишний раз подчеркивает, что начальные этапы формирования чехла синхронны с конечными этапами формирования фундамента и что оба эти процесса отнюдь необязательно отделены друг от друга огромным интервалом времени. Относительно молодые (1640 млн. лет) граниты рапакиви известны также на Балтийском щите; их массивы (Выборгский, Смоландский и др.) образуют относительно тонкие пласты площадью в десятки тысяч квадратных километров. Наличие внутри пластовых тел рапакиви прослоев эффузивов и постепенные переходы гранитов в неизмененные осадочные породы склоняют А. С. Новикову к мысли о метасоматическом образовании рапакиви в обширных плоских впадинах — *синодеях*, первоначально заполненных вулканогенно-осадочными образованиями, в частности иотнийскими песчаниками. Если это так, то намечается еще одна форма связи между фундаментами и чехлами древних платформ, заключающаяся в возможной гранитизации на отдельных участках нижних членов чехла, в присоединении (приплавлении) их к кристаллическому фундаменту.

С течением времени площадь распространения отложений чехла постепенно увеличивается и чехлом «затягивается» вся платформа, за исключением щитов в современных их контурах. «Затягивание» платформ чехлом происходило неодновременно на разных платформах. Так, Сибирская платформа была «затянута» в венде (самые верхи протерозоя), Восточно-Европейская платформа — только лишь в позднем девоне.

Формирование чехлов платформ происходит неравномерно. Обычно можно выделять несколько этапов, начинающихся опусканиями платформы и трансгрессиями и заканчивающихся поднятиями платформы и регрессиями. Каждому этапу соответствует

свой структурный этаж в чехле платформы. На Индийской платформе, значительная часть которой оказалась не «затянутой» чехлом, структурные этажи чехла особенно резко обособлены как по вертикали, так и по площади. Распространение верхнепротерозойского этажа (виндийская, куддапахская серии) было ограничено грабенообразными впадинами на северо-западе платформы. Второй структурный ярус, заполнивший систему гондванских авлакогенов, формировался с карбона до начала мела. Формировавшиеся с юры до неогена перикратонные прогибы, а также траповая впадина Декана (поздний мел — эоцен) составляют третий структурный этаж чехла. К четвертому этажу могут быть отнесены неогеновые предгорные прогибы — Пенджабский, Предгималайский, Ассамский и др. На Индийской платформе целостность чехла в значительной мере утрачивается, он как бы распадается на отдельные линзы, одновозрастные системы которых могут рассматриваться как прерывистые структурные этажи.

Важно подчеркнуть различие соотношений чехла и фундамента на древних и молодых платформах. Так, если развитие чехлов древних платформ и осложняющих их тектонических форм в значительной степени обусловливается устойчивостью кристаллического основания и движениями его глыб, а сама форма чехла в целом отражает форму древнего консолидированного блока, представляющего собой фундамент, то развитие чехла молодой платформы обусловливается крупными тектоническими опусканиями, связанными с глубинными процессами, распространение которых в общем не зависит от ограничений древних структурных элементов, которые можно выделить в фундаменте этой области. В качестве одной из особенностей молодых платформ А. Л. Яншин указывает четко выраженное двухъярусное строение чехла.

В. Н. Соболевская для огражденных плит считала нецелесообразным выделение нижнего структурного яруса, так как грабены и депрессии распространены прерывисто и их отсутствие не изменяет характеристики плиты; посторогенный или предчехольный этап развития огражденных плит аналогичен стадии образования авлакогенов на древних платформах.

А. Л. Яншин отмечал, что на молодых платформах в связи со слабой изученностью низов чехла и некоторых формаций фундамента часто под названием «промежуточного», «переходного» или «парагеосинклинального» яруса объединяются самые разнородные комплексы отложений, а именно молассы краевых и межгорных прогибов герцинид, эпигеосинклинальные средне- и верхнепалеозойские отложения на каледонидах и нижнемезозойские отложения грабенов.

---

Под названием платформ объединены структурные элементы гипергенной оболочки (они же могут рассматриваться как крупные структурные формы), обладающие одним общим признаком — двухъярусностью строения и обязательным наличием в качестве

верхнего структурного яруса платформенного чехла, образованного слабодислоцированными и слабометаморфизованными толщами. Согласно принятой историко-геологической интерпретации строения платформ, чехол является результатом длительного спокойного развития платформы как крупного стабильного, в общем не подверженного контрастным движениям участка гипергенной оболочки. Сплошное распространение чехла на всей территории платформы не является обязательным. В состав платформы принято включать также участки, где тело чехла образует прогалины при условии, если эти участки окружены областями распространения чехла или включены в них (щиты, выступы фундамента на древних платформах, выступы, кряжи и гряды на молодых платформах). Сказанным общие черты древних и молодых платформ исчерпываются. Различия же их настолько существенны, что можно предполагать, что они обладают различным генезисом. Древние платформы представляют собой поднятые угловатые блоки, ограниченные зонами перехода платформенных формаций чехла в синхронные им геосинклинальные формации окружающих складчатых сооружений, молодые же платформы обладают подобными ограничениями лишь на отдельных участках их периметров, на значительной же протяженности их границы определяются линиями выклинивания чехла. Таким образом, если древние платформы выступают как остаточные поднятия с угловатыми очертаниями, молодые платформы представляют собой крупные опускания (геосинеклизы) амебообразной формы с краями и «щупальцами», заходящими местами на территории древних платформ (Прикаспийская впадина, Таймырская депрессия), и оборванные уступами вдоль молодых геосинклинальных систем.

### ВУЛКАНИЧЕСКИЕ ПОЯСА

Краевые вулканические пояса впервые были выделены в 1956 г. в работах геологов группы Н. С. Шатского. Они обладают высокой проницаемостью, большой протяженностью (до тысяч километров) и шириной (до 100—200 км). Они образуются вдоль пограничных зон между разновозрастными геосинклинальными системами. Вулканические пояса возникают не обязательно сразу вслед за завершением геосинклинального развития в одной из смежных геосинклинальных систем, на край которой они накладываются, но во время начальной стадии геосинклинального развития в другой геосинклинальной системе, к которой они примыкают. Именно таково положение Охотско-Чукотского и Центрально-Американского вулканических поясов. Оба эти пояса, а также Сихотэ-Алинский пояс отделяют кайнозойские геосинклинальные системы периферии Тихого океана от более древних складчатых сооружений материков.

Вулканические пояса выделяются не только по периферии Тихого океана, но также и внутри материков (*пояс между массивами* Центрального Казахстана и герцинидами Прибалхашья — Джунгарии, на южном окаймлении Сибирской платформы и т. д.).

## ВНУТРИКОНТИНЕНТАЛЬНЫЕ ВПАДИНЫ И СВОДОВЫЕ (ЭВГИМНИЧЕСКИЕ) ПОДНЯТИЯ

Геосинклинальные и платформенные области, представляющие собой основные структурные элементы гипергенной оболочки, характеризуются значительными объемами геологических формаций и сплошным их распространением. Вместе с тем на обширных континентальных пространствах, в тектоническом отношении представляющих собой крупнейшие длительно существующие поднятия — *континентальные своды*, возникали и развивались внутриконтинентальные впадины, которые могли в значительной степени уничтожаться за счет последующей денудации. Хотя их роль в строении гипергенной оболочки очень невелика, они являются свидетелями длительных этапов тектонического развития крупных участков земной поверхности.

Действительно, тектонические процессы, происходящие в континентальных условиях и оставляющие относительно небольшие вещественные следы в структуре гипергенной оболочки, играют весьма заметную роль в ее общем тектоническом развитии. Достаточно указать, что в мезозое и палеогене в среднем 75 % площади современных материков принадлежало крупным континентам, т. е. относилось к континентальным сводам с их специфической тектонической жизнью. Можно сослаться также на относительную длительность континентальных условий, продолжительность существования которых, например для территории Сибирской платформы, составляла 60 % длительности фанерозоя.

Крупнейший мезо-кайнозойский континентальный свод Азии осложнен многочисленными и разнообразными впадинами. Системы впадин закладывались на платформенном и геосинклинальном основании, вдоль древних глубинных разломов, на древних раскалывающихся щитах (например, Алданском), внутри палеозойских прогибов, с которыми их связывают некоторые черты унаследованности. Каждая впадина представляет собой геологическое тело с определенной формационной характеристикой и, следовательно, может рассматриваться как структурный элемент того участка или блока, к которому она принадлежит. Межвпадинные пространства представляют собой выступы того фундамента (любого строения, необязательно складчатого), на котором сформировались впадины. Можно рассматривать впадины, имеющие формационное выражение, и совершенно обнаженные, или *эвгимнические*, межвпадинные пространства как единые системы одновозрастных структурных форм. Фундамент, слагающий межвпадинные эвгимнические пространства, несомненно, испытывал деформации, синхронные с образованием впадин. Представления о развитии эвгимнических структурных форм мы можем основывать лишь на гипотезах, построенных на косвенных признаках. Так, например, некоторые данные о развитии эвгимнических форм можно получить, наблюдая разломы, пересекающие впадины и смежные эвгимнические формы, изучая одновременные с форми-

рованием впадины проявления магматизма в межвпадинных пространствах, а также выясняя палеогеографические особенности отложений, выполняющих смежные впадины. Для молодых (кайнозойских) систем могут быть также использованы неотектонические (скорости и распределение современных и новейших тектонических движений) и геоморфологические данные. Совокупность внутриконтинентальных впадин и разделяющих их эвгимнических форм образует континентальный ряд тектонических форм.

Континентальные впадины разнообразны. Вопрос их типизации может рассматриваться в различных аспектах.

Во-первых, типы впадин могут выделяться по морфологическим признакам и соотношениям впадин со сводовыми поднятиями. Во-вторых, типы впадин можно выделять по характеру взаимоотношений их с фундаментом.

Одну из главных разновидностей составляют крупные, в общем изометричные и угловатые, обычно глубокие (5—8 км) впадины на докембрийских глыбах, окруженных палеозойскими складчатыми сооружениями и горными системами — впадины Западного и Центрального Китая: Таримская, Джунгарская, Цайдамская. Близкая к первой, но особая разновидность представлена миндалевидными глубокими впадинами Средней Азии, зажатыми между испытавшими недавние поднятия блоками палеозойских складчатых массивов (Ферганская, Нарынская, Иссыккульская и др.). Выделяется группа впадин, вложенных в позднепалеозойские межгорные прогибы (Кузбасс, северная часть Минусинского прогиба, Рыбинская впадина).

Особое место занимает группа впадин и грабенов, вытянутых по простиранию палеозойских, а также протерозойских складчатых систем; во впадинах этой очень сложной группы может быть выделен ряд разновидностей. Сюда относятся впадины байкальской системы, северной ветви Монголо-Охотского пояса, возможно, часть впадин Катазии. Многие впадины тесно пространственно связаны с разломами и являются приразломными. К ним принадлежат, в частности, впадины байкальской и селенгинской систем. Первые из них (кайнозойские) приурочены к зоне разлома протяженностью 2500 км и шириной 50—60 км. Вторые (мезозойские) связаны с системой разломов, разветвляющейся и расширяющейся в северо-восточном направлении.

Впадины на древних платформах также весьма разнообразны. Особую группу образуют впадины — грабены, возникшие на Алданском щите и территориально связанные с мезозойскими щелочными интрузиями. Некоторые из них (пришовные синеклизы) имеют удлиненную форму и располагаются вдоль крупных швов. Так, Иркутский бассейн вытянут вдоль краевого шва, являющегося юго-западной границей Сибирской платформы. Могут быть выделены синеклизы или прогибы, развившиеся на месте более древних синеклиз и прогибов; к их числу относится Вилюйская впадина. Особую разновидность составляют наложенные синеклизы, не имеющие видимой связи со структурой платформы,—

Восточно-Китайская синеклиза, впадина Сунляо, Алданская юрская синеклиза. Наконец, могут быть выделены краевые прогибы, расположенные вдоль границы древней платформы и молодой складчатой области. Единственным хорошо изученным и ясно выраженным краевым прогибом в пределах Азиатского мезо-кайнозойского материка является Предверхоянский. В отличие от типичных краевых прогибов, переходящих в сторону платформы в одновозрастные отложения плит (Предуральский прогиб, Предкавказье, Предкарпатский, Предкопетдагский и др.), Предверхоянский прогиб на значительном протяжении имеет четкие ограничения как со стороны складчатой области, так и со стороны платформы.

В-третьих, могут быть выделены типы впадин по их возрасту (байкальская система неогеновых впадин, система юрских впадин Алтае-Саянской области и юга Сибири и т. д.).

В-четвертых, впадины могут быть разделены по их положению относительно континента и по участию в них морских осадков. Это связано с уточнением понятия «граница континента», которая выражается извилистым и подвижным во времени контуром.

В-пятых, впадины, очевидно, могут быть разделены по самому важному признаку в генетическом отношении, который заключается в оценке интенсивности тектонических процессов и, прежде всего, в выделении, с одной стороны, впадин с проявлениями интрузивного и эффузивного магматизма, эндогенными рудопроявлениями и метаморфизмом, а с другой стороны — впадин, свободных от проявлений магматизма и метаморфизма, заполненных рыхлыми угленосными или другими терригенными толщами.

На мезо-кайнозойском материке Азии впадины первой группы тяготеют к восточной и южной его окраинам, а впадины второй группы — к западным границам, окаймленным тектоническими малоактивными плитами. Таким образом, ареалы распространения глубинной активности не считаются с геоморфологическим контуром континента, а распределение впадин по интенсивности магматических проявлений асимметрично по отношению к этому контуру. Отсюда также следует, что фактор «интенсивности» является главным в генетическом отношении в смысле связи впадин с глубинными процессами.

Некоторые системы внутриконтинентальных впадин в ходе наращивания гипергенной оболочки перекрываются вновь образующимися чехлами и тогда рассматриваются как их нижний структурный ярус. Таковы выполненные континентальными, угленосными и вулканогенными дислоцированными толщами Челябинский, Назаровский, Тюменский и другие триасово-раннеюрские грабены, некогда осложнявшие Тургайское сводовое поднятие, но затем перекрытые мезо-кайнозойским чехлом Западно-Сибирской плиты, а также аналогичные триасовые грабены Аппалачей.

На территории Сибири существовали и более древние континентальные своды. Например, в девоне континентальный свод за-

нимал значительную часть современной Сибирской платформы, восточную и центральную части Алтае-Джугджурской складчатой области. Впадины, образовавшиеся на этом своде, даже те из них, которые распространяются в пределы платформы (Рыбинская впадина), обычно рассматриваются в составе орогенного комплекса Алтае-Саянской раннепалеозойской геосинклинальной области.

Процессы образования континентального ряда тектонических форм Чень-Года называет *тектоногенезом «дива»*, объединяя в этом понятии глыбовые движения и магматизм мезозойской и кайнозойской эр в восточной части Азиатского материка, обусловленные не влиянием области складчатости, а особым состоянием земной коры. Намечаются четыре этапа тектоногенеза «дива»: 1) незначительные проявления магматизма и переход от морских условий к континентальным, 2) формирование связанных с разломами континентальных впадин с вулканогенными и угленосными формациями, внедрение гранитов ($T_3$—$J_3$), 3) продолжение развития впадин, интенсивная вулканическая деятельность, гранитные интрузии, менее интенсивные глыбовые движения ($J_3$—K), 4) возникновение новых впадин (байкальских), излияния базальтов.

В нашем представлении континентальный ряд тектонических форм охватывает многие тектонические явления на всех континентах, так как каждый континент может рассматриваться как континентальный свод. Континентальный ряд тектонических форм имел широкое развитие в геологическом прошлом. Формации, выполняющие впадины этого ряда, могут входить в состав орогенных структурных этажей геосинклинальных областей и в нижние этажи платформенных чехлов. Большинство же впадин, по-видимому, уничтожено денудацией, и в гипергенной структуре вместо сложнопостроенных систем разнообразных по типу впадин, осложнявших континентальные своды прошлого, фигурируют лишь поверхности региональных несогласий.

---

Внутриконтинентальные впадины не принадлежат ни к геосинклинальным, ни к платформенным областям. Вместе с тем они настолько малы по сравнению с ними, что по соразмерности не могут наравне фигурировать в качестве структурных элементов гипергенной оболочки, а должны расцениваться лишь как включения, не определяющие общую ее структуру. Однако для отдельных участков внутриконтинентальные впадины могут рассматриваться как структурные элементы наряду со структурными этажами и структурными элементами высоких порядков, входящими в состав геосинклинальных и платформенных областей.

Обязательно ли сохранять столь особое независимое положение внутриконтинентальных впадин и не лучше ли их считать элементами платформенных или геосинклинальных областей? В частности, может показаться соблазнительным считать впадины, осложняющие современный (мезо-кайнозойский) континент Азии,

аналогами нижнего структурного яруса чехлов молодых платформ и, таким образом, причислить их к платформенным. Однако это было бы лишено достаточных оснований. Действительно, для такого утверждения надо иметь уверенность, что ареалы распространения внутриконтинентальных впадин будут на следующем этапе тектонического развития перекрыты платформенными чехлами. Однако, очевидно, существуют и другие возможности. Во-первых, на месте внутриконтинентальных впадин могут впоследствии развиться геосинклинальные системы, и тогда впадина станет относиться к основаниям геосинклинальных комплексов; во-вторых, впадины со всеми своими заполнениями могут быть полностью уничтожены денудацией и никогда не войдут в состав чехла платформ. Что именно будет в дальнейшем со впадинами — это вопрос будущего. Пока же мы знаем, что внутриконтинентальные впадины располагаются как на геосинклинальном, так и на платформенном основании и не принадлежат ни к геосинклинальным, ни к платформенным областям. Поэтому мы вынуждены рассматривать их особо, не относя их, впрочем, из-за малых размеров к структурным элементам гипергенной оболочки Земли.

## ОКЕАНИЧЕСКИЕ ОБЛАСТИ

### Тектоника океанического дна

В основу определения тектонических тел (структурных элементов, тектонических форм) положены структурно-вещественные признаки в горнопородной специализации. На них основано выделение в геосинклинальных и платформенных областях континентов различных структурных элементов и тектонических форм, а также тектоническое районирование и описание геологических тел.

По этим же признакам должны описываться структурные элементы и тектонические формы океанического дна. Однородность тектонического описания континентов и океанов необходима для осуществления общего глобального тектонического анализа. Однако структурно-вещественные признаки — это прежде всего характеристики образцов горных пород и измеренные их свойства. По океанам в этом отношении сделано значительно меньше, чем по континентам. Только в последние десятилетия глубоким бурением и драгированием получены данные по тонкому, если сравнивать с глубиной геологической изученности континентов, поверхностному слою гипергенной оболочки океанов, но уже и эти материалы в совокупности с надежно интерпретируемыми на горнопородном языке геофизическими (главным образом сейсморазведочными) результатами открывают путь для сравнительного анализа тектоники континентов и океанов.

Еще в 1966 г. на «Тектонической карте Евразии» тектонические представления были даны на основе рельефа, причем его формы были частично закамуфлированы тектоническими названиями (например, «океанические платформы» и «плиты»), а ча-

стично дополнены глубинной геологически однозначно неинтерпретируемой геофизической характеристикой (например, «глубокие котловины, лишенные гранитного слоя»). Геофизические данные по океанам трудно интерпретировать из-за недостатка геологических эталонов. Первые такие сравнительные эталоны получены при глубоком бурении с судна «Гломар Челленджер», бурении на шельфах, а также на прилегающих к ним участках суши и драгированием.

Недостаточная структурно-вещественная изученность океанического дна приводит зачастую к переоценке геофизических и геоморфологических данных как таковых. В результате геологические представления основываются не на геологических фактах и принципе актуализма, а на слабоаргументированных гипотезах. Порой создается впечатление, что тектоника океанов как бы «растворилась» в гипотезах. Тем труднее характеризовать тектонику океанов, «абстрагируясь» от тех или иных уже сделанных вероятностных выводов и гипотез. О некоторых гипотетических тектонических схемах речь пойдет ниже. Здесь же мы ограничимся тем немногим, что можно рассмотреть на структурно-вещественной основе на уровне эмпирических обобщений. В пределах океанов предлагается выделять шесть главных типов структурных элементов: 1) океанические плиты, 2) периокеанические прогибы, 3) плиты и впадины окраинных морей, 4) островодужные системы, 5) срединноокеанические поднятия и 6) вулканические массивы. Охарактеризуем некоторые из них.

Океанические плиты распространены весьма широко. К ним относится большая часть пространства Тихого океана, в Атлантическом океане они образуют две раздельные фланговые полосы по обе стороны срединноокеанического поднятия; в Северном Ледовитом океане можно видеть также разделенные поднятием две плиты — Евразиатскую и Азиатско-Американскую. В Индийском океане обособление плит связано с более сложным рисунком срединноокеанических поднятий.

Периокеанические прогибы четко оконтуривают Африканский континент, на северной оторочке которого их можно назвать также межконтинентальными, поскольку они примыкают и к Европе; эти межконтинентальные средиземноморские прогибы являются одновременно звеном цепи прогибов, окаймляющих Евразию со стороны Атлантического и Индийского океанов, а также Арктики; периокеаническими прогибами окаймляется Австралийский материк, а также обе Америки со стороны Атлантического океана; характерно, что западное побережье обеих Америк от периокеанических прогибов почти совершенно свободно, так же как восточный фронт глубоководных желобов, окаймляющих с запада Тихий океан. Периокеанические прогибы большей частью параллельны бортам континентов, но местами их длинные оси располагаются перпендикулярно к берегам; местами периокеанические прогибы выходят на сушу, как, например, в синеклизе Голфа или системе Северное море — Северо-Германская впадина.

Плиты и впадины окраинных морей служат как бы продолжением и разновидностями периокеанических прогибов, однако специфические структурные особенности дна окраинных морей и их отграничения от океана островодужными системами позволяют выделять их в самостоятельный тип; окраинные моря окаймляют Азию и Австралию с востока; к ним относится также Карибское море.

Тихий океан окаймляют на западе островодужные системы, представленные сочетанием островных дуг и глубоководных желобов, а на востоке — только глубоководные желоба. Островодужные системы образуют обращенные к востоку два «вольта» в районах морей Карибского и Скотия; ими окаймляются также Большие Зондские острова со стороны Индийского океана.

*Океанические плиты.* Если в периокеанических прогибах мощность осадочной толщи достигает 10—15 км и более, то в центральных частях плит она нигде не превышает 1—1,5 км, а чаще составляет 100—300 и менее 100 м. Так что в тектоническом отношении океанические плиты значительно монотоннее континентальных. Можно выделять плиты, относя к ним отдельные области океанического дна, расположенные между срединноокеаническими поднятиями и континентами (или же цепочками периокеанических прогибов, глубоководными желобами, другими формами, сопутствующими окраинам континентов). В пределах плит можно различать структуры вогнутые и выпуклые со слабыми изгибами слоев или слабыми изменениями мощностей. Одна из синклиналеобразных форм плиты хорошо видна на составленной А. П. Лисицыным «Карте мощностей мезозойских отложений» на дне океанов по данным глубоководного бурения. В Тихом океане «выделяется огромное осадочное тело мощностью до 800—1000 м (а в скв. 167 — даже 1180 м)» [«Океанология», 1980, с. 38], которое вытянуто широтно приблизительно вдоль экватора южнее разлома Клипертон. «Карта мощностей кайнозойских отложений» того же автора подтверждает существование упомянутой широтной зоны и показывает наличие еще нескольких небольших максимумов мощности в пределах Тихоокеанской плиты. В остальных районах океанических плит, судя по этой же карте, распределение мощностей чехла значительно равномернее. Пликативные и дизъюнктивные дислокации плитного комплекса (чехла) отмечаются в зонах разломов.

Формационный анализ применительно к отложениям дна океанов делает лишь первые шаги. Тем не менее анализ разреза Северо-Западной котловины Атлантического океана от плато Блейк до Срединно-Атлантического хребта, составленного по данным бурения с «Гломар Челленджера» показал, что по составу формаций, мощностям, площадям распространения, характеру залегания он близок формационным рядам молодых платформ и особенно Скифской плиты (Г. Л. Кириллова).

Осадочные толщи океанических плит залегают на разновозрастном базальтовом «фундаменте». Это не тот фундамент, что

выделяется на платформах континентов. Там речь идет о структурном этаже, структурных перестройках, различиях в степени метаморфизма и т. д., здесь же — только о подстилающих базальтовых потоках, от возраста которых, следовательно, только и зависит возраст «фундамента» в том или ином районе океанического дна. Признание разновозрастности базальтового «фундамента» не имеет непосредственного отношения к принятию идей мобилизма или фиксизма.

*Периокеаническими прогибами* (в отличие от передовых или краевых прогибов на континентах) мы будем называть прогибы, располагающиеся на окраинах океанов вдоль берегов континентов. Некоторые из этих прогибов продолжаются в пределы континентов и могут быть названы *террааквато́риальными* (например, прогиб Северного моря и Северо-Германской низменности, синеклиза Мексиканского залива и др.). Периокеанические прогибы перспективны для поисков нефти и газа. Для террааквато́риальных прогибов полезно проводить сравнительный анализ территориальных и акваториальных их частей в целях установления перспективных нефтегазоносных структурных форм в океанах. Иногда периокеанические прогибы приравнивают к паралиогеосинклиналям М. Кэя. Размеры этих прогибов различны, мощности же выполняющих их осадочных толщ могут превышать 10—15 км. Стратиграфический диапазон осадочных толщ обычно включает кайнозой и мезозой, а в отдельных случаях распространяется на весь фанерозой, но большей частью охватывает лишь кайнозойскую и мезозойскую группы. В направлении океана прогибы переходят в маломощную океаническую плиту, в составе которой пока неизвестны отложения древнее юры. Форма прогибов различна, но обычно легко определяется их длинная ось. Судя по строению прилежащих частей континентов, прогибы располагаются на различных основаниях (докембрийском, каледонском, герцинском) и могут находиться в разных соотношениях с типами земной коры.

Объединяет периокеанические прогибы их закономерное цепочкообразное размещение у окраин континентов. Периокеанические прогибы четко разграничивают континенты и океаны, подчеркивая их значение как главных структурных элементов гипергенной оболочки. По гравиметрическим, магнитометрическим (поля Бауэра), сейсмологическим и геохимическим признакам можно предполагать, что корни этих структурных элементов уходят в мантию Земли. По аналогии с краевыми прогибами древних платформ (плит) на континентах периокеанические прогибы являются естественными тектоническими ограничениями океанических плит, а возраст этих прогибов не меньше, чем возраст плит. Отсюда возникает мысль о палеозойском возрасте океанических плит, во всяком случае, на весьма значительных пространствах.

Периокеанические прогибы можно группировать в определенные системы или цепочки, а именно в Евразиатскую Атлантико-

Арктическую, Американскую Атлантическую, Циркумафриканскую со Средиземноморской зоной, Южно-Азиатскую, Австралийскую и Антарктическую.

Евразиатская система состоит из Бискайского (с продолжающей его в северо-западном, а затем на широте Ирландии в северо-восточном направлении цепочкой прогибов с мощностями осадочной толщи более 5 км), Североморского (поперечного по отношению к краю континента и переходящего в его пределах в Германо-Польскую впадину; мощности осадочной толщи здесь достигают и превышают 15 км, а ее стратиграфический диапазон простирается от кайнозоя до среднего палеозоя), Норвежского (мощность до 9 км, стратиграфический горизонт, вероятно, тот же, в расположенной северо-западнее Норвежской глубоководной котловине мощность осадочной толщи не более 2 км, и она предположительно принадлежит кайнозою), Баренцевоморского (обладает огромными размерами — 1,4 млн. км$^2$, ограничивается на севере и востоке Шпицбергеном, Землей Франца Иосифа и Новой Землей, мощность свыше 15 км, вероятный стратиграфический диапазон до нижнего палеозоя), Западно-Сибирского, сливающегося с одноименной геосинеклизой на суше, Анабарско-Лаптевского, переходящего на суше в Предверхоянский прогиб, и Индигиро-Чукотского (на востоке достигает Аляски, мощность более 7,5 км, площадь вместе с Анабарско-Лаптевским более 1 млн. км$^2$) прогибов.

Американская система включает Фолклендский прогиб [протягивается вдоль Фолклендских (Мальвинских) островов и островов Южной Георгии, мощность более 10 км], Приаргентинский (здесь имеются впадины, расположенные вкрест простирания материковой окраины с мощностями до 5 км, резко сокращающими на разделяющих поднятиях до 1 км; подошва осадочной толщи здесь находится на том же уровне, что в прилежащих глубоководных котловинах океана), Южно-Бразильский и Амазонско-Оринокский прогибы (мощность свыше 5 км, линейно протягивается вдоль побережья материка), прогиб Голф, занимающий большую часть Мексиканского залива; сюда распространяется солянокупольная область, а мощности осадочной толщи превышают 12 км. Далее следует Североамериканский прогиб (протягивается с изломом севернее Багамских островов, а затем вдоль побережья континента; структура прилегающей к континенту части прогиба характеризуется кулисными поднятиями и прогибами, вытянутыми вдоль окраины материка; имеются также поперечные прогибы с мощностями до 10 км, разделяемые поднятиями с мощностями 2 км: к прилежащей глубоководной котловине здесь мощности сокращаются до 2—3 км, причем подошва осадочной толщи приподнята на 4—5 км по сравнению с прогибом). Далее следует Ново-Шотландский, Ньюфаундлендский, Лабрадорский, Баффинов и Канадский прогибы; последний весьма обширен и простирается под водами Северного Ледовитого океана от Канадского архипелага до Аляски; в него входят наиболее глубокие впадины с мощностями более 10 км — Северо-Гренландская и Бофорт. Мощность осадоч-

ной толщи во всех североамериканских прогибах достигает 5 км, а в Баффиновом и Канадском — 10 км; осадочная толща везде включает палеозойские отложения.

Циркумафриканская система включает два сравнительно неглубоких (в геологическом смысле) прогиба с мощностями осадочной толщи 5 км и более с мезо-кайнозойским выполнением. Это Мозамбикский прогиб, расположенный вдоль побережья материка на западном борту Мозамбикской котловины на широте Южного Мадагаскара, и Агульясский прогиб. Более севернее прогибы характеризуются мощностями осадочной толщи свыше 10 км, нижняя часть которой принадлежит палеозою. К ним относятся Кения-Сомалийский, Ангольский (восточный борт Ангольской котловины), Гвинейский (Гвинейский залив; структуры прогиба выходят на сушу, причем зона максимального прогибания, соответствующая разлому Камерун, вытянута перпендикулярно к берегу), Сенегальский и Канаро-Атласский. Все циркумафриканские прогибы линейно вытянуты вдоль берега материка.

Средиземноморская зона циркумафриканской системы включает Восточно-Средиземноморский (глубины до 10 км и больше; выходит на сушу в районе Ливии и имеет в качестве апофизы Адриатический прогиб) и Балеарский прогибы.

Южно-Азиатская система характеризуется расположением длинных осей периокеанических прогибов перпендикулярно к общему генерализированному простиранию южной границы Азиатского континента и выходами в пределах суши. Глубина прогибов здесь достигает 10 км. Главные из них — прогиб Аравийского моря и прогиб Бенгальского залива.

К Австралийской системе относятся прогибы, вытянутые параллельно очертаниям континента: мощности здесь достигают 10 км, на севере эти прогибы включают палеозой (Южно-Австралийский прогиб, соответствующий северному борту Южно-Австралийской котловины, Западно-Австралийский прогиб, располагающийся на восточном борту Западно-Австралийской котловины и Арафурско-Тиморский прогиб, занимающий часть акваторий одноименных морей).

В Антарктическую систему входят впадины моря Росса (Тихоокеанский сектор) и Уэделла (Атлантический сектор) с мощностями до 3 км, со стратиграфическим диапазоном от кайнозоя до палеозоя, а также прогиб моря Беллинсгаузена с мощностями осадочной толщи до 7,5 км, продолжающийся в рифтовую впадину Брамсфилд между п-овом Палмера и Шетландскими островами (мощность 5 км). Кроме того, намечаются Африкано-Антарктический и Австралийско-Антарктический прогибы.

Глобальная система *срединноокеанических поднятий* (хребтов) хорошо известна. Наиболее характерно Срединно-Атлантическое поднятие, с которым связаны представления о расплывании Американского и Африканского континентов, а также различные варианты гипотез расширяющейся Земли и тектоники литосферных плит.

Срединноокеанические поднятия связаны с современной активностью Земли, поэтому их геоморфологические черты, повышенная сейсмичность, высокий тепловой поток и пониженные скорости в мантии под ними органично сливаются с собственно тектонической структурной характеристикой. В этом отношении срединноокеанические поднятия существенно отличаются от вулканических поднятий, в пределах которых сейсмические и тепловые характеристики не так выделяются на общем фоне окружающих их районов океанического дна, за исключением участков современной вулканической активности.

Геоморфологические характеристики Восточно-Тихоокеанского поднятия и срединноокеанических хребтов атлантического типа существенно различны. В первом случае это пологое поднятие с отчетливо выраженной вершиной, а во втором — линейные хребты с отчетливо обозначающейся рифтовой долиной. На Австралийско-Антарктическом поднятии, лежащем на юго-западном продолжении Восточно-Тихоокеанского, рифтовая долина отсутствует, зато на Центрально-Индийском, Аравийско-Индийском и Африкано-Антарктическом хребтах рифтовые долины отчетливо выражены. Геоморфологическая характеристика в какой-то мере должна отражать тектонику обоих типов поднятий, однако надо иметь в виду, что геоморфологические, а также геофизические характеристики могут быть преходящими, тогда как тектоническая «консервативна» и в ней выражена длительность развития. «Консервативность» тектонических форм и структурных элементов тоже относительна. Эти формы и структуры могут разрушаться сверху денудацией, а снизу метаморфизмом, но интервал времени их существования достаточен, чтобы сохранить в «памяти Земли» геологическую историю на протяжении десятков, сотен миллионов и даже первых миллиардов лет.

Сравним Восточно-Тихоокеанское поднятие с поднятием Дарвина. Размеры первого, по Г. У. Менарду, таковы: высота 2,3 км, ширина 2000—4000 км, длина 15 000 км. Поднятие соразмерно с континентами Северной и Южной Америки. Поднятие как бы поддерживается «разуплотненной», т. е. низкоскоростной мантией и характеризуется высоким тепловым потоком. У берегов Калифорнии оно теряет определенность очертаний, на его материковом продолжении лежат современные поднятия суши — плато Колорадо и хребты Скалистых гор, т. е. области «активизации», не связанные, как и в Центральной Азии, с консервативной тектонической постройкой; на дальнейшем продолжении к северу в штате Орегон наблюдаются повышенная сейсмичность и тепловой поток, что опять же говорит о повышении современной активности и только. Можно думать, что достаточно изменения мантийной ситуации, как активизация прекратится, а поднятие, возможно, «сядет» на свое место. Не так ли было с поднятием Дарвина, которое имело почти такие же размеры, но которое сейчас восстанавливается только по погрузившимся атоллам и гайотам. Г. У. Менард приводит палеобатиметрическую карту этого поднятия, согласно

которой его высота достигала 2 км. Возникает вопрос: не являются ли безрифтовые соразмерные с континентами океанические поднятия типа Восточно-Тихоокеанского и Дарвина крупными преходящими неотектоническими волнами, отражающими неустойчивые глубинные процессы, протекающие в недрах Земли. Примечательно, что в районе поднятия Дарвина наблюдаются повышенные скорости прохождения упругих волн, и, возможно, погружение поднятия было связано с уплотнением вещества на мантийных глубинах. О геологической истории Восточно-Тихоокеанского поднятия могла бы свидетельствовать осадочная толща; однако мощность ее 30—150 м, т. е. существенно не отличается от мощности на окружающих участках плиты.

Рифтовые долины на срединноокеанических хребтах Индо-Атлантической ветви являются явным признаком рифтовых грабенов, т. е. необратимых изменений тектонической постройки. И. А. Соловьева указывает, что рифтовая долина Западно-Индийского хребта имеет рекордную глубину — 6000 м, а по изобате 4000 м и ее ширина составляет 30—40 км. В осевой зоне Атлантического хребта бурением установлены (скв. 411 и 412) мощности осадочной толщи 70 и 170 м соответственно. Формирование внутреннего рельефа хребтов происходило после накопления хотя бы части существующих осадков. По данным И. А. Соловьевой, в рифтовых долинах и во многих впадинах, сопровождающих поперечные разломы, осадочная толща залегает горизонтально, но, как правило, деформированность ее нарастает книзу постепенно или скачкообразно (несогласие). У разломов слои изгибаются или разрываются. Залегание и состав осадков свидетельствуют, что хребты начали образовываться тогда, когда на первично субгоризонтальном дне океанических бассейнов уже накопилась осадочная толща. Горизонтальное залегание в рифтовых долинах говорит об их относительной молодости. Осадочные толщи здесь представлены «фациями срединных хребтов» — обломочным и переотложенным материалом, вулканокластитами и пеплами, а также фораминиферовыми, кремнистыми, карбонатными илами; в низах разрезов — толщи мела с прослоями глин, в базальных горизонтах — металлизированные кремни и железисто-магнезиальные окислы. Возраст осадочных толщ в районах хребтов от эоцена (отдельные участки Срединно-Атлантического и Восточно-Тихоокеанского хребтов) до плейстоцена; мощность десятки—первые сотни метров, до 431 м на Галапагосском, до 506 м на Аравийско-Индийском, до 450 м на Срединно-Атлантическом и до 622 м на Рейкьянесском хребтах. На срединноокеанических хребтах пробурены 42 скважины, детально освещающие только два участка на Срединно-Атлантическом и один на Восточно-Тихоокеанском хребтах. Следует отметить, что понятия осадочной толщи, фундамента и границы между ними на срединноокеанических хребтах и вообще в океане совершенно неопределенны и на них не могут основываться ни хроностратиграфическая корреляция, ни историко-геологические реконструкции.

Интересные мысли относительно природы срединноокеанических хребтов высказаны Ю. М. Пущаровским в 1986 г. Он пишет о крупнейшем глобальном событии, связанном с космическими воздействиями, которое привело к образованию мировой рифтовой системы на базе ранее существовавшей Атлантической оси. Для системы характерны асинхронный магматический процесс и его пульсационный режим. Это событие относится к рубежу мела и палеогена и сопровождается вымиранием многих видов организмов (динозавры, белемниты, аммониты и др.) и иридиевой аномалией (повышенное содержание этого элемента в слоях образовавшихся на границе кайнозойской и мезозойской эр).

Существен вопрос об океаническом базальтовом фундаменте срединноокеанических хребтов. И. А. Соловьева пишет, что во всех без исключения скважинах (в пределах хребтов), судя по кернам, фундамент образован переслаиванием потоков базальта с вулканическим пеплом, пиллоу-лавами, гиалокластитами; часто в фундаменте на глубинах десятков и сотен метров от его кровли обнаруживаются прослои песчаников, мела (в скв. 322 на глубине более 500 м ниже кровли фундамента). Упомянем еще о скв. 462-А в Микронезии; бурение проходило с 565 до 1068,5 м по базальтам с тонкими и редкими прослоями илов (до глубины 1000 м) с микрофауной апта, баррема и готерива. Все это говорит о том, что бурение по «фундаменту» сулит нам неожиданности. Возможно, что рисуемая сейчас кровля океанического «фундамента» представляет собой лишь генерализованную поверхность базальтовых покровов различного возраста и что стратиграфическое положение надбазальтовых слоев еще ничего не говорит о распространении различных горизонтов мезозоя и кайнозоя в океанических областях. Иными словами, «фундамент» в отдельных частях может быть одновозрастен с различными слоями осадочного разреза океанов и представляет собой не фундамент в классическом понимании, а лишь часть чехла. Все это свидетельствует о недостаточной исследованности геологии океанического дна, об отсутствии базы для глобальных построений, особенно связанных со столь распространенным понятием спрединга. В связи с этим ниже пойдет речь о магнитных аномалиях в океанах и будут высказаны сомнения в правильности принятой их нумерации и отсчета по ним времени и скоростей спрединга. Остановимся на некоторых фактах, упомянутых И. А. Соловьевой: 1) скв. 114 прошла 622 м осадков, древнейшие из которых были послемиоценовыми — раннеплиоценовыми; радиометрический возраст фундамента был определен калий-аргоновым методом в 5 млн. лет, что хорошо совпало со стратиграфическим возрастом низов осадочной толщи, но существенно отличается от оценки возраста по магнитным аномалиям (10 млн. лет). Для объяснения неувязки принято предположение, что низы осадочного разреза захоронены в базальтах; значит, и «фундамент» не фундамент, и возрастная схема магнитных аномалий бьет слишком далеко от цели; 2) в скв. 427 у разлома Сикейрос у оси Восточно-Тихоокеанского поднятия под толщей

мощностью 146 м вскрыты базальты возрастом 44 млн. лет, тогда как по шкале магнитных аномалий здесь должно было быть 3—5 млн. лет; в соседних скв. 428 и 429 возраст базальтов 2,0 и 4,6 млн. лет; поэтому предполагается, что скв. 427 вошла в базальты по разлому на 700 м ниже их кровли, а это означает, что 700-метровая толща базальтов формировалась на протяжении 40 млн. лет — от эоцена до плиоцена. Это опять же говорит или о синхронности и соразмерной длительности формирования «фундамента» и осадочной толщи, или о несовершенстве шкалы магнитных аномалий, или, что вернее, о том и о другом вместе.

Приведем еще данные Г. Б. Удинцева. Он считает, что в Бразильской котловине поверхность акустического фундамента в разрезе скв. 355 соответствует толеитовым базальтам, перекрытым отложениями кампана. По аналогии с Бразильской котловиной и в Ангольской котловине акустический фундамент тоже должен соответствовать базальтам; но там под акустический фундамент уходят соляные отложения. На суше на краях Южноамериканского и Африканского континентов соли также перекрыты базальтами. В Норвежском море базальты лежат на складчатых осадочных комплексах (по данным сейсморазведки), а на плато Фолклендском и Роколл под базальтами вскрыты бурением континентальные толщи. Сказанное не касается собственно срединноокеанических поднятий, но немаловажно, поскольку речь зашла о базальтовом «фундаменте» океанов.

---

Системы *срединноокеанических поднятий* в горнопородном (формационном) смысле (конечно, только при современном состоянии изученности геологии дна) менее ясно выражены, чем системы периокеанических прогибов. Однако они также являются глобальными и примечательными по своей протяженности. Природа этих поднятий пока не ясна. Или это разломы древних суперконтинентов — линии, от которых пошло растаскивание крупнейших их частей, составляющих современные континенты; в таком случае контуры континентов (прежде всего Южной Америки и Африки) являются функциями этих разломов. Или же срединноокеанические поднятия выражают реакцию океанических плит на создаваемые континентальными блоками напряжения, причем не только плит, но и подстилающих их глубинных сфер Земли (тепловой поток, разуплотнение мантии и мантийные «диапиры»); конфигурация срединных поднятий является функцией контуров континентов, издавна существовавших как крупнейшие противостоящие океанам неоднородности (тела) гипергенной оболочки, земной коры и мантии. При первом варианте большой простор для геодинамических построений дает концепция литосферных плит, при втором — литосферные плиты отходят на задний план, уступают свое место континентам и океанам, а срединные поднятия рассматриваются как реакция мощной расположенной под океанами земной толщи, включая мантию, на противоборство

континентальных массивов; в таком случае геометрия систем срединных поднятий объяснима как отражение контуров материков. Следует отметить, что реакция океанических плит на противостояние континентов может мыслиться как образование фиксированных зон разломов (хребтов) или же как возникновение крупных тектонических волн (поднятие Дарвина — Восточно-Тихоокеанский хребет), которые, возможно, связаны с особыми тектоническими свойствами Тихоокеанской плиты (талассократона).

Тихоокеанская океаническая плита ограничена не периокеаническими прогибами, а геологическими и геоморфологическими структурами, представленными системами островных дуг и глубоководных желобов. Тихоокеанская плита обрезается этими системами, как грандиозными разломами, и не образует перед ними впадин, заполненных осадками. При самом общем взгляде Тихоокеанская плита представляется или очень жесткой по сравнению с другими океаническими плитами и поэтому не прогибающейся на границах с континентами, или же «обрубленной» этими же самыми разломами, причем ее периокеанические прогибы (если такие были) вместе с ее «обрубленными» частями попали в пространство окраинных морей на западе Тихого океана. Однако на востоке океана таких морей нет, и глубоководные желоба проходят вдоль границ этой недеформированной (в смысле отсутствия периокеанических прогибов) плиты и континента. Конечно, западная и восточная «обрубленные» границы плиты могут быть различными по своему отношению к континенту, но могут и не нести принципиальных отличий. По нашим данным, окраинные моря (исследования эти относятся к Охотскому и Японскому морям), вероятнее всего, имеют платформенное строение («неоплатформы» с мезозойским складчатым фундаментом), а выходы складчатого и метаморфизованного палеозоя и докембрия на ограничивающих их островных (Япония, Сахалин) и полуостровных (Камчатка) поднятиях говорят всего скорее о принадлежности их к Азиатскому материку.

## О возможности преобразования гипергенной оболочки океанического типа и о тектоническом положении островных систем

Поскольку основными типами гипергенной оболочки Земли являются континентальный и океанический, еще во многом неясный, главным представляется вопрос о соотношении этих двух типов гипергенной оболочки и возможности их перехода одного в другой.

При взгляде на геологическую или тектоническую карту Мира ясно видно, что континентальные площади насыщены древними платформами и выходами архейских и протерозойских образований в геосинклинальных областях. Эти древние блоки близко подступают к границам океанов и во многих районах непосредственно срезаются ими (восточная часть Алданского щита, Канад-

ский и Бразильский щиты и Африканская платформа со стороны Атлантического океана, Африканская, Индостанская, Австралийская и Антарктическая платформы со стороны Индийского океана) или отделяются от них линейными складчатыми геосинклинальными системами (Южноамериканская, Североамериканская и Австралийская платформы со стороны Тихого океана). Поэтому следует считать весьма вероятным, что архейско-протерозойский цоколь, состоящий в своей основе из измененных осадочных пород, распространялся на всю площадь континентов, за возможным исключением некоторых узких окраинных геосинклинальных зон. Существование архейского цоколя не доказано в центральных частях обширных геосинклинальных поясов (например, Урало-Тяньшанского), где, однако, установлено широкое распространение протерозойских геосинклинальных толщ. Следовательно, на континентах, если не с архея, то, по крайней мере, с начала протерозоя, повсеместно происходило формирование гипергенной оболочки континентального типа. Поэтому на протяжении огромного промежутка времени нигде в пределах площади континентов гипергенная оболочка континентального типа не могла начать формироваться непосредственно на так называемой первичной океанической коре. Мало того, она не формировалась и на гипергенной оболочке океанического типа. Против возможности существования в прошлом океанических условий на территории современных континентов говорит также отсутствие осадков Мирового океана в стратиграфических разрезах континентов, что было подробно обосновано Г. Штилле.

Таким образом, данные о геологическом строении континентов не только не доказывают, но и опровергают возможность разрастания континентов за счет океанических пространств, начиная с начала неогея, а следовательно, ставят вообще под сомнение представления о переработке «голой» океанической коры или же гипергенной оболочки океанического типа в континентальную и о направлении современного геосинклинального процесса на окраинах Тихого океана в сторону отвоевывания океанических пространств для континентов.

Однако часто высказывается противоположная точка зрения. В частности, приводится пример последовательной зональности в Южной Америке в сторону океана от герцинид, примыкающих к древней платформе, к ранним альпидам, далее к зоне неогеновой геосинклинали и, наконец, к системе глубоководных желобов, рассматриваемых как современные геосинклинальные рвы. Однако герциниды вполне могли развиваться не западнее платформы, а на ее раздробленном участке, ранние альпиды — не к западу от герцинид, а непосредственно на них и т. д.

Таким образом, наблюдающаяся на западе Южной Америки последовательность складчатых зон могла вполне образоваться в пределах ранее существовавшего континентального цоколя. Мало того, в Северной Калифорнии (горы Кламат севернее Юрики) известны выходы метаморфизованных и складчатых

ордовикских и силурийских пород типичного геосинклинального облика в непосредственной близости к побережью Тихого океана, что мало увязывается с представлениями о наращивании складчатыми зонами континентальных блоков на фоне отступания геосинклинальных зон в сторону ложа Тихого океана.

Если считать установленным, что континенты не могли наращиваться за счет океанов, по крайней мере, с протерозоя, то такое же тектоническое положение занимают парные системы: дуга — желоб (назовем их «островными системами»), которые часто трактуются как современные геосинклинальные системы, перемещающиеся (может быть, скачкообразно) к центру океана и наращивающие континент. Эти системы, как было показано, не передвигались в геологическом прошлом от континента к океану.

Можно говорить о морфологическом сходстве островных систем с геосинклинальными системами или об их сходстве по некоторым другим признакам, например подвижности. Однако мы условились выделять геосинклинальные системы по вещественному (формационному) составу. Достаточных же оснований ставить знак равенства по этому признаку между островными и геосинклинальными системами у нас не имеется. Действительно, послемеловые толщи, слагающие островные дуги, специфичны и состоят из терригенных и карбонатных обычно мелководных морских отложений в прибрежных и островных фациях, реже лигнитоносных толщ, продуктов вулканических излияний основного, среднего, реже кислого состава и туфогенных толщ. Местами выделяются толщи типа моласс. Однако ни в одном случае не наблюдались формационные ряды, характерные для геосинклинальных систем континентов.

Приведем данные о заполнении глубоководных впадин осадками, т. е. об их формационной характеристике. Так, Ф. Кинг полагает, что те желоба, которые имеют не U-образное, а плоское дно, заполнены осадками, вероятно, принесенными мутьевыми потоками. В качестве примера приводится впадина Пуэрто-Рико (Боаунсона), имеющая плоское дно. На ее южном продолжении появляется срединное валообразное поднятие, которое достигает поверхности моря в виде о-ва Барбадос; слагающие этот остров породы рассматриваются как осадки, выполнившие южную часть желоба. В основании разреза здесь располагаются терригенные мелководные, частью грубообломочные дислоцированные отложения среднего эоцена (1500 м), выше несогласно лежат алевропелиты с включениями обломков песчаников и известняков и следами подводно-оползневых явлений (0—400 м), радиоляриевые кремнистые породы и глобигериновые мергели («океаническая формация», 550 м), фораминиферные известняки и глобигериновые мергели (верхний олигоцен — нижний миоцен, 3000 м). Эти отложения, которые предположительно сформировались в глубоководном желобе, отнюдь не являются эвгеосинклинальными, что в какой-то степени свидетельствовало бы в пользу трактовки желобов как геосинклиналей в начальной стадии, а скорее всего

сходны с отложениями морских предгорных впадин; в частности, они обнаруживают близкое сходство с форминиферовой толщей северо-западного склона Кавказа.

Среди донных осадков глубоководных впадин указываются по разным данным бескарбонатные терригенные осадки, вулканогенные и частично биогенные кремнистые осадки, гравийно-галечные осадки, рассеянные гальки и валуны (до самых больших глубин), форминиферовые известковые илы, известково-глинистые осадки с примесью вулканогенного материала, радиоляриевые и диатомитовые илы. Весь этот набор осадков почти целиком вписывается в набор горных пород Барбадосского разреза. Судя по этим данным, островные системы или надо считать структурными элементами особого типа, или выделять в особую разновидность геосинклинальных систем.

Трактовка островных систем как геосинклиналей в начальной стадии их развития, расположенных на переднем фронте наступления континента на океан, приводит к недостаточно обоснованным палеотектоническим построениям для континентальных пространств. Так, например, некоторые реконструированные древние линейные возвышенности, представлявшие собой узкие полосы суши или гирлянды островов, сравниваются с островными дугами островных систем, и в связи с этим высказываются предположения о существовании в пределах нынешних континентальных площадей в эпохи, к которым относятся данные палеотектонические построения, значительных участков с «голой» океанической корой.

Заслуживает внимания сопоставление Н. А. Богдановым современных глубоководных желобов с восточной зоной Отаго—Сахалин палеозоид западного обрамления Тихого океана. Эта зона представляет геосинклинальное образование особого типа. Она сложена толщами граувакк (до 60 %), пепловых и обломочных туфов, развитых по ним кремнистых сланцев с прослоями спилитов и диабазов, линзами известняков и мраморов, прослоями конгломератов и брекчий; в этой зоне почти отсутствуют гранитные интрузии, но развиты дайки и силлы основных и ультраосновных пород. Как отмечает Н. А. Богданов, эти толщи сходны с осадками современных океанических желобов; сходны они с формациями островных дуг. Он считает, что зона Отаго—Сахалин развивалась вдоль, окраины океана, и предлагает относить ее к классу талассогеосинклиналей или океанических геосинклиналей, не имеющих аналогов в пределах континентов. Сопоставление островных систем с этим, пока намечающимся классом талассогеосинклиналей представляется наиболее обоснованным.

Пространственное совпадение зоны палеозойских талассогеосинклиналей, а также выступов докембрийского или несколько более молодого кристаллического фундамента с островными системами свидетельствует о стационарном положении талассогеосинклинального пояса, по крайней мере, с палеозоя и, следовательно, о стационарном положении западно-тихоокеанской границы между областями распространения гипергенной оболочки

континентального и океанического типов. Стационарное положение восточного ограничения Тихого океана подтверждается строением и историей развития складчатых сооружений западных окраин Северной и Южной Америки.

Действительно, геосинклинальные процессы отличаются здесь большой продолжительностью и значительной интенсивностью смятий и магматических проявлений. Примерами тому служат Кордильеры и Анды. А. Ирдли, например, указывает, что орогенический пояс вдоль тихоокеанского края континента развивался в течение очень длительного времени. Древнейшими пластами являются ордовикские, а деформированные слои плейстоценового возраста прослеживаются вдоль всего пояса от Мексики до Аляски. Здесь имела место длительная и более или менее непрерывная активность тектонических и магматических процессов в пределах сравнительно узкого пояса. Характерно, что вдоль границы Тихоокеанского блока располагаются самые протяженные на земном шаре горные складчатые сооружения, которые к тому же обладают прямолинейными или слабо изогнутыми очертаниями, не свойственными горным цепям Средиземноморья. Все это свидетельствует об устойчивом положении края Тихоокеанского блока в течение всего фанерозоя. Наличие развитых каледонид под Андами подтверждает эту идею.

Г. Штилле считал, что периферия Тихого океана является линией геотектонического раздела первого порядка с древних времен истории Земли, линией, ограничивавшей сверхустойчивую и почти лишенную землетрясений область Тихого океана. К этому же поясу приурочены наибольшие на всем земном шаре новейшие движения пасаденской фазы. Тихий океан, по его мнению, является праокеаном, контуры которого определились в глубоком докембрии. Тихий океан был окружен поясом пракратонов (праконтинентов), в который входили Лаврентия, Бразилия, Патагония, Ангария, Синия, Австралия, предположительно Филиппины. Между поясом пракратонов и праокеанов располагался Циркумтихоокеанский ортогеосинклинальный пояс, существовавший и значительно развитый уже в докембрии (серия Белт в Кордильерах). Таким образом, развитие Тихоокеанского пояса Г. Штилле представлял как унаследованное с докембрия; он писал, что состояние той части «земной коры», которая представлена Мировым океаном, необратимо или почти необратимо. Тихий океан Г. Штилле считал не единственным праокеаном; к ним он также относил Арктический праокеан, пра-Скандик, Северную и Южную пра-Атлантику.

Таким образом, наиболее вероятна унаследованность зон ограничения Тихого океана, по крайней мере, в течение всего фанерозоя.

В отношении так называемой «зоны перехода», включающей окраинные моря и островные системы, в геологической литературе очень широко распространено оперирование мощностями и строением коры как геологическими аргументами. Участки с раз-

личными типами коры (субконтинентальным, субокеаническим, океаническим) часто непосредственно связываются с представлениями о частях и этапах развития геосинклинальных систем без всякого соблюдения принципа специализации, попыток установления физически обоснованных корреляционных связей и разработки соответствующих систем интерпретации. Это ведет к нелепым и бесплодным рассуждениям. Без всяких оснований «зона перехода» часто именуется «зоной с формирующейся континентальной корой». Конечно, эта зона очень подвижна, поэтому объемы (мощности) и структуры коры здесь могут меняться во времени в связи и в зависимости от геологических обстоятельств. Но это не будет формированием континентальной коры в геологическом смысле, а лишь в смысле перемещения скоростных разделов. Это подтверждается данными по Охотскому морю, где выделены две системы линейных гравитационных аномалий: одна сахалинского простирания, другая — курильского; обе эти системы пересекаются и прослеживаются под водами Охотского моря, в частности под глубоководной Курильской впадиной, в области распространения коры океанического типа, т. е. отсутствия скоростного «гранитного» слоя. Это можно объяснить как переход обеих складчатых систем в пространство базальтового слоя, а возможно, и мантии. В этом смысле Курильская котловина подобна многим внутриконтинентальным впадинам, где процесс перехода структурно-вещественных комплексов в пространства «базальтового слоя» и мантии был менее радикален. Сказанное свидетельствует о том, что Охотское море образовалось в результате прогибания складчатого основания. Таким образом, для Охотского моря вряд ли можно говорить о мобильных отношениях современного берега континента и островных дуг, включая Камчатский полуостров. Японское море также на большой своей площади подстилается континентальным (в геологическом смысле) фундаментом. Глубоководная же Япономорская котловина слабо изучена, и в отношении ее можно сделать различные, в том числе мобилистские предположения.

Западные берега окраинных морей (Охотского, Японского, Восточно-Китайского и Южно-Китайского) срезают разновозрастные структурные системы континентов, занимая по отношению к ним трансгрессивную позицию. Мезо-кайнозойские вулкано-тектонические пояса расположены только на северных окраинах западной границы этих морей, и поэтому нельзя согласиться с А. А. Моссаковским, считающим эти пояса важным фактором консолидации континентальных массивов. Охотское и Японское (на севере) моря непосредственно граничат с горными возвышенностями вулканогенных поясов, как воды Атлантического океана — с норвежскими каледонидами. Западные берега окраинных морей скорее принадлежат к атлантическому, чем к тихоокеанскому типу. Некоторые исследователи, отстаивающие позиции формирования «континентальной коры» в зоне перехода, в качестве одного из аргументов приводят ультраосновные породы Ко-

рякского нагорья, Камчатки, Сахалина и Шикотана, прослои которых ими всегда трактуются как тектонические чешуи и с огромной натяжкой относятся к «меланократовому фундаменту».

Устойчивость положения зон ограничения говорит в пользу соответствующей длительности существования Тихого океана как глубоководного бассейна и как области с корой океанического типа. Не исключен, однако, другой вариант, а именно, что при устойчивости своих ограничений Тихий океан в сравнительно недавнем прошлом (например, в конце палеозоя — начале мезозоя) мог представлять собой относительно поднятый, характеризующийся иным (континентальным) строением коры блок, впоследствии испытавший океанизацию. В настоящее время ни один из этих двух вариантов не может быть доказан за недостаточностью данных.

Однако первый вариант более вероятен по ряду соображений. В частности, особый характер палеозойских талассогеосинклиналей Н. А. Богданова и современных островных систем говорит скорее за периокеаническую, чем за внутриконтинентальную их природу. Представление о базификации Тихоокеанского блока гипергенной оболочки континентального типа встречает возражения со стороны геохимиков. В. А. Магницкий, например, высказывает справедливое недоумение по поводу того, куда девалось в таком случае огромное количество высвобождающегося кремния.

### Основные тектонические проблемы геологии океана

В последнее десятилетие возникло много волнующих нерешенных вопросов в отношении тектоники океана. Здесь столкнулись два массива информации. Во-первых, накопленные веками и выкристаллизовавшиеся в геологических картах и теории геосинклиналей результаты исследования континентов. Во-вторых, новые уже довольно обширные данные по тектонике океанического дна. Как это всегда и бывает, увлеченность новым вошла в конфронтацию с приверженностью к уже сложившимся представлениям. Возник, так сказать, критический момент в развитии тектоники. Тектонисты-континенталисты стали искать на континентах признаки того нового, что было установлено в океанах, а также подтверждений или опровержений тех гипотез, которые были высказаны тектонистами-океанистами. Одни континенталисты стали искать на континентах реликты океанического дна, которые по традиции считаются самым древним наблюдаемым образованием на планете (во всяком случае самым древним в конкретной точке поверхности Земли и приуроченном к ней разрезе), а также признаки огромных горизонтальных перемещений в прошлом, другие — отстаивают позиции незыблемости и фиксированного положения основных структурных элементов и самих континентов на лике Земли. Здесь мы также видим коллизии увлеченности новым и приверженности к установившимся представлениям, которые так же, как и коллизия между океанистами и континенталистами, начинают смягчаться, и мы все более оцениваем важность

как новых идей, так и глубокого уважения к колоссальным трудам многих поколений геологов и их очень разнообразным и богатым светлыми мыслями представлениям. Тектонисты-океанисты сначала так увлеклись новыми данными, полученными в океанах, и поспешными гипотезами, что предоставили континентам способность плавать на океаническом субстрате наподобие пассивных ледяных полей и глыб (только не оттаивающих) с неизменными контурами. Континентам только представлялось право раскалываться или сталкиваться. Вся динамика и истоки тектонической активности Земли оставлялись за океанами, причем геологическое развитие континентов, а также вероятность изменчивости их размеров и форм не привлекали достойного внимания. Сейчас и эта экстремистская тенденция слабеет. Наблюдавшиеся в океанах и казавшиеся поначалу простыми явления оказались сложными, а потенциал гипотез, которые в период увлеченности рассматривались как незыблемые теории, новая эра и революция в геологической науке, определенно снижается. Континенты все больше начинают интересовать тектонистов-океанистов, и дело идет неукоснительно к постепенному изживанию ненужных коллизий и к консолидации науки.

Можно наметить тектонические проблемы геологии океана, которые представляются наиболее важными, допускают множество решений и, следовательно, способствуют активизации усилий к достижению правильных результатов, необходимых практике и проверяемых ею. Эти проблемы таковы: 1) соотношения океана и континента, 2) главные структурные подразделения в океанах, 3) геологическая история и глубинное строение, 4) постоянство и эволюция, 5) пространственный униформизм и эмпирический подход.

А. Д. Архангельский писал, что широкая и протяженная система складок Тетиса (Альпийско-Гималайского пояса) прослеживается под водами Тихого океана в виде систем островов и подводных поднятий. В пользу этого, по его мнению, свидетельствуют выдержанное направление системы океанид, их длина и ширина, примерно соответствующие размерам Альпийско-Гималайского пояса. А. Д. Архангельский при этом ясно отдавал себе отчет, что гравиметрические, сейсмические и петрографические данные могут свидетельствовать о том, что «в противоположность материкам земная кора в Тихоокеанской области в основном состоит из тяжелых магматических пород базальтового типа. Такой вывод, вполне отвечающий геологическим и геофизическим данным, отнюдь не обозначает, что здесь не может быть ни геосинклинальных областей, ни складчатых процессов. Только свойства тех и других в соответствии с иным характером преобладающих пород, несомненно, должны существенно отличаться от свойств и процессов аналогичных структурных элементов в области материков [1941, с. 326].

Прав был А. Д. Архангельский или неправ, рисуя продолжение континентальных структур в океане в столь внушительных

размерах, однако несомненно, что в меньших масштабах (шельфы, срезание материковых структур береговыми линиями, например, вдоль северного побережья СССР) оно, конечно, имеет место и широко распространено.

Точка зрения А. Д. Архангельского, как и альтернативная ей точка зрения о том, что строение гипергенной оболочки в океанах совершенно иное, чем на континентах, не опровергнута и не доказана. Не исключено, что в одних участках океанов имеет место продолжение континентальных структур в океан, в других — нет. Исследования этого вопроса требуют широких региональных исследований в океане.

Вопрос соотношения океана и континента имеет другой аспект, включающий не только их взаимные современные структурные связи, но также кинематику и развитие. Согласно гипотезе литосферных плит, земная кора формируется в спрединговых зонах, постоянно находится в движении и поддвигается под континент (субдукция) на западном побережье Тихого океана. Согласно взглядам, поддерживаемым В. В. Белоусовым, земная кора в океанах не находится в состоянии непрерывного горизонтального движения и не погружается под континенты, которые сохраняют свое в общем фиксированное положение. Сейчас сторонники этих двух точек зрения взаимно опровергают представления, противоположные их собственным. Можно надеяться, что современная конфронтация изживет себя и большинство геологов сосредоточатся на решении коренных вопросов строения Земли. Сейчас постепенно растворяется в противоречивых фактах гипотеза Вайна и Метьюза о спрединговом процессе. Новейшие геофизические данные, фиксирующие современное положение геологических тел, свидетельствуют о том, что субдукция возможна, но не доказана. Определение же скорости субдукции по предполагаемой скорости спрединговых расплываний литосферных плит имеет чисто гипотетическую основу и в лучшем случае является настолько далекой экстраполяцией, что вообще не может быть принято всерьез. Существует представление, что Тихоокеанский и Евразиатский блоки просто давят друг на друга и между ними возникают зоны сильных скалывающих напряжений, выражающиеся на поверхности землетрясениями и вулканизмом и прослеживающиеся на глубину по гипоцентрам землетрясений. Такое представление рисует более стабильное, но неспокойное соотношение океана и континента; оно подкрепляется фактом существования в некоторых районах сопряженных зон максимального скалывания, т. е. наклоненных как к континенту, так и к океану («зоны Тараканова»).

Существует также точка зрения, согласно которой отношения океана и континента определяются разрастанием континента за счет океана. Корни этого представления связаны, во-первых, с теорией геосинклиналей, согласно которой по многим очевидным геологическим фактам, наблюдаемым на континентах, геосинклинальный процесс ведет, как правило, к прогрессивному наращи-

ванию щитов и платформ, вплоть до «склероза» Земли, во-вторых — с истолкованием окраинных дуг как современных геосинклиналей. Эту концепцию разделяли и разделяют многие исследователи. В частности, она хорошо выражена в работах М. С. Маркова и других, согласно которым «океаническая кора» постепенно заволакивается все более молодыми толщами, в частности, геосинклинального типа. К близким выводам приходил и В. А. Магницкий. Ссылаясь на свои работы, а также работы Е. В. Павловского и др., он пишет, что кора океанического типа считается первородной, постепенно происходит переработка этой коры в кору континентального типа за счет поступления вещества из недр Земли. Эти представления хорошо согласуются и со средним темпом поступления вещества из недр Земли 2,5 км$^3$ в год, что дает за $3 \cdot 10^9$ лет всю массу коры. Однако В. А. Магницкий к этой гипотезе относится самокритично, указывая, что наша позиция до сих пор была поневоле континентоцентрическая, так как о том, что находится под океаном, мы ничего не знали. С этим надо согласиться, по крайней мере, в отношении Тихого океана, во-первых, потому что восточно-азиатские складчатые системы и складчатая система Кордильер развиваются унаследованно, так сказать, не «сдвигаясь с места» в течение всего фанерозоя (другой вопрос — было ли само это место подвижным или нет), во-вторых, потому что берегами окраинных морей и самого Тихого океана срезаются такие древние массивы, как Охотский, Алданский, Корейский и Южно-Китайский. Существует весьма противоречивое представление о континентальной аккреции. Согласно гипотезе литосферных плит, океаническая кора рождается постоянно в спрединговых зонах и, считаясь с наличием континентов, излишки ее некуда девать, если бы не идеи субдукции и представления о ее вероятных механизмах. В этих условиях постоянное наращивание океанической «коры» по существу исключает наращивание континентов. В Толковом словаре английских геологических терминов 1977 г. так и сказано: «Континентальная аккреция — разрастание континентов.» Теория, изложенная в XIX в. Дж. Дэна, согласно которой континенты растут за счет океанических бассейнов путем постепенного нарастания нового континентального материала вокруг первичного ядра... Ей прямо противоположны другие важные концепции, например концепция океанизации, концепция движения континентов.

Основные структурные формы в океанах раньше выделялись по геоморфологическим признакам. С развитием океанического бурения этот метод уходит в прошлое, но тем не менее во многих научных трудах и картах он остался, так сказать, запечатленным. Мы встречаемся с ним в работах А. Д. Архангельского, который протягивает Альпийско-Гималайский складчатый пояс в океан по островам и поднятиям рельефа дна, а также в других уже устаревших работах. В них, наряду с экстраполяцией континентальных структурных форм в океан, что в известных размерах представляется вполне приемлемым, допускается трактовка форм

рельефа как тектонических элементов или систем по разработанным на обширном материале континентов нормам. Так, районы разновозрастной складчатости порой выделялись по изобатам; с такими же основаниями выделялись платформенные участки, геосинклинальные складчатые системы. С получением обширных данных океанического бурения и хорошо геологически интерпретируемых геофизических материалов (например, МОВ, ОГТ и др.) в последние годы положение существенно изменилось, и тектоника дна океанов может определяться по надежным геолого-геофизическим критериям. Сейчас уже успешно выделяются глубокие периокеанические прогибы, срединноокеанические хребты, которые, несмотря на свое традиционное геоморфологическое наименование, имеют определенную геологическую характеристику, выступы складчатого основания из-под плитных комплексов (например, в Охотском и Японском морях), а также разломы, которые могут трассироваться с широким привлечением геофизических и геоморфологических данных.

Сейчас по геологическим данным в качестве наиболее заметных структурных форм океанического дна выделяются: а) геологические системы срединноокеанических хребтов, б) системы периокеанических прогибов и в) широтно-вытянутые динамопары, обычно именуемые «трансформными разломами», а также системы широтных разломов типа Мендосино и Пионер. При тектоническом районировании и исследовании динамики океанического дна возможны два подхода: или отдать предпочтение одной из этих трех систем, или же рассматривать их как взаимно связанную совокупность структурных форм, позволяющую выяснить динамику океанического дна, а поскольку океаны занимают 70 % поверхности Земли, то и динамику Земли, полностью использовав при этом огромный опыт исследования геологии континентов.

Гипотеза движения литосферных плит очень удачно увязывает многие стороны геологической структуры и геологических процессов, но, к сожалению, базируется не на строго доказанных, а чаще на умозрительных посылках. Еще не удается выделять плиты как обособленные блоки, способные к самостоятельному (конечно, на несущем их субстрате) перемещению.

Границы плит, устанавливаемые по сейсмофокальным признакам, принято разделять на сгущенные, пунктирные и рассеянные. Они часто не замыкаются, и введение понятия об «ископаемых границах» литосферных плит не спасает положения. Симметрия магнитных аномалий, природа которых сама по себе весьма гипотетична, усматривается из очень условных сопоставлений, дающих возможность только предполагать, а не утверждать наличие долговременных однонаправленных спрединговых движений, которые, возможно, имеют пульсирующий характер со сменой сравнительно малых расхождений и сближений «плит», точнее, участков поверхностной оболочки Земли, разделенных срединноокеаническими хребтами или другими сейсмически активными зонами. Все эти, а также многие другие неувязки ортодоксальной концепции

тектоники литосферных плит позволяют поставить два вопроса: 1) каково относительное значение трех типов тектонических систем в океанах?, 2) можно ли одной из них дать приоритет над остальными?

При подходе к первому вопросу сталкиваемся с двумя впечатляющими фактами. Во-первых, системы периокеанических прогибов по порядку размеров соответствуют системам срединноокеанических хребтов, а в геологическом смысле — значительно сильнее выражены, поскольку в них наблюдаются значительно бóльшие мощности, а следовательно, величины вертикальных перемещений. Во-вторых, системы широтных океанических разломов, в том числе и трансформных, по протяженности и размерам перемещений не меньше, чем системы срединноокеанических хребтов. Особенно существенной представляется широтная зона гравитационных аномалий, пересекающая Атлантический океан от устья Амазонки до устья Нигера и выраженная значительно сильнее, чем аномалия Срединно-Атлантического хребта. Севернее ее аномалии хребта слабее, а южнее — почти незаметны. А ведь гравитационные аномалии непосредственно связаны с распределением масс в земной «коре» и верхней части мантии, т. е. имеют несомненную и существенную геологическую природу. Короче говоря, системы всех трех типов примерно равноценны, и трудно какой-либо из них отдать предпочтение.

Попробуем поочередно считать приоритетным каждый тип систем. Если этот приоритет отдать системе срединноокеанических хребтов, то приходим к гипотезе литосферных плит, которая детально разработана, хорошо известна и вполне популярна. Если главную роль придать периокеаническим прогибам, то может появиться идея о фиксированном положении континентов, вдоль берегов которых на протяжении сотен миллионов лет накапливались в узких отрогах осадочные породы; при этом окраины Тихого океана специфичны и характеризуются сейсмофокальными системами, связанными с напряженным состоянием мантии вдоль зон максимальных скалывающих напряжений. Срединноокеанические хребты в этом случае могут представлять лишь реакцию «коры» вдоль линий, в общем параллельных контурам континентов. Если допустить, что ведущая роль принадлежит широтным разломам, то невольно напрашивается предположение об определяющем значении динамических ротационных факторов, которые могут связываться с широтными зонами напряжений как с горизонтальными смещениями (разломы Тихого океана), так и с подъемом глубинных тяжелых масс (Атлантическая гравитационная аномалия).

Мы располагаем материалами лишь самой недавней геологической истории океанических пространств. Правда, в периокеанических прогибах, изученных геофизическими методами и бурением, отложения достигают по возрасту раннего палеозоя, зато в других частях океанов на огромных пространствах океанического дна (талассократонов) скважины не заходят дальше юры.

Еще ниже залегают основные породы (главным образом базальты), которые местами перекрываются меловыми, палеогеновыми, а также неогеновыми отложениями. Характер распределения этих отложений дает основание для концепции спрединговой формирования всего океанического дна и разновозрастности «коры».

Эта концепция порою переносится на континенты, где также рисуется «океаническая кора», т. е. толщи основных пород, сходных с базальтами и другими основными породами, встречающимися на дне океанов. Надо сказать, что если в океанах разновозрастность так называемого меланократового фундамента обосновывается конкретными геологическими данными, то для континентов эти представления являются чисто умозрительными, так как меланократовый фундамент на всей территории континентов не наблюдался, если не считать гипотетически связываемых с ним офиолитовых чешуй. Однако этого явно недостаточно для доказательств. Наличие самого меланократового фундамента под гранито-гнейсовыми толщами континентов пока не представляется возможным проверить бурением.

Гипотеза о первичности меланократового фундамента в океанах нуждается в проверке. И программу такой проверки можно наметить. Главным в ней должно быть бурение на океаническом дне и хорошо интерпретируемые на основе данных бурения геофизические материалы. Отдавая должное представлениям о молодости и «свежести» меланократового фундамента океанов, можно считать, что не исключена возможность обнаружения под базальтами осадочных толщ, сходных с осадочными толщами континентов (кстати, отметим, что случаи нахождения в толще океанических базальтов, правда, только на небольших глубинах, прослоев осадочных пород с мезозойской фауной уже известны). Во-первых не надо исключать, что системы магнитных аномалий, существованием которых доказывается спрединг, могут иметь самую различную природу, и подтверждение ими явлений спрединга и новообразования коры не представляется достаточно сильным. Во-вторых, надо принять во внимание возможность продолжения континентального докембрия Азии под меланократовый фундамент Тихого океана. В-третьих, нельзя не учитывать исследования Б. И. Васильева во входящих углах (со стороны океана) на сочленениях Курило-Камчатского и Японского желобов, а также Курило-Камчатской и Алеутской островных систем, где им обнаружены драгированием брекчии базальтов с остатками диатомей и фораминифер, андезиты, плагиограниты, биотит-амфибол-плагиоклазовые кристаллические сланцы, гальки лейкократовых гранитов и гранит-порфиров и т. д. Им же высказано предположение, что субстратом базальтоидов может быть «зрелая» океаническая кора, а возвышенность Обручева, всегда относившаяся к океаническому блоку, принадлежит Азиатскому материку и отделилась от него в виде блока в связи с образованием глубоководных желобов. Конечно, многое из найденного Б. И. Васильевым можно отнести за счет ледового переноса. Но ведь можно и не отнести.

Тогда выводы этого автора следует рассматривать как основательные, но нуждающиеся в проверке.

Из сказанного следует, что геологическая история Тихого океана не выяснена и к ее исследованию надо идти путем проверки различных гипотез, так сказать, перебора возможностей.

Глубинное геологическое строение дна океана достоверно может изучаться только глубоким бурением, развитию которого следует поэтому уделить особое внимание. Нельзя о глубинном геологическом (горнопородном, геофлюидном) строении судить по глубоким сейсмическим разделам типа Мохо. Многие примеры, в том числе Кольская сверхглубокая скважина, показывают, что эти разделы имеют не горнопородную, а своеобразную природу. Другое дело, если речь идет о глубинном геофизическом строении; оно должно изучаться сейсмическими, гравиметрическими, магнитотеллурическими, геотермическими и другими методами, что позволит высказывать разные суждения о глубинном геологическом строении Земли и будет способствовать прогрессу в этом направлении.

С палеотектонических позиций очень важно выяснить, как долго сохраняли океаны и континенты в общих чертах свою форму или как их форма менялась со временем. Здесь встает вопрос о постоянстве и эволюции. Постоянство формы континентов как бы предполагается в дискуссиях между фиксистами и мобилистами, причем корни этой идеи связаны именно с мобилизмом. Когда речь идет о разламывании единого древнего крупного материка на более мелкие современные континенты, то форма этих континентов предполагается обусловленной таким раскалыванием. Отколовшиеся глыбы — континенты — перемещаются, плавают по субстрату или даже сталкиваются и объединяются. Они не меняют в основном свою форму, что ясно следует из господствующего представления о том, что современные очертания их берегов очень сходны с теми очертаниями, которые определились в момент разделения континентов. Для подтверждения выводов о постоянстве контуров материков, особенно Африки и Южной Америки, а также Африки, Австралии, Индостана уже в течение многих лет ведутся поиски признаков сходства по геологическому строению прибрежных зон, ориентировке тектонических систем, палеонтологическим характеристикам и т. д. Видимо, найденные признаки недостаточны, поэтому поиски их продолжаются.

Надо сказать, что порожденное представление о постоянстве форм континентов в неявном виде признается фиксистами. Вернее, их оно вполне устраивает. В ходе дискуссий с мобилистами фиксисты, отстаивающие постоянство основных структурных форм, их неподвижность, поневоле приходят к мысли о неизменности границ континентов. Получается так, что «завороженные» доказательствами неизменности форм границ материков фиксисты стали настолько ортодоксальными, что ослабили свое внимание к проблемам развития. Остались как бы в тени вопросы эволюции; о гипотезе разрастания континентов сейчас почти не вспоминают.

Правда, мнения о постепенном, в течение, по крайней мере, всего фанерозоя, формировании континентального блока на «океанической коре» высказываются, но как тогда быть с примерным постоянством площади, занятой океанической корой, если она формируется спредингом, уравновешиваемым субдукцией?

Приходится признать, что идеи разрастания континентов и океанизации отбрасывать еще рано. Предусматриваемые ими процессы представляют элементы эволюции, которые могут сосуществовать, не являясь в ней главными. Эти идеи, из которых следует, по крайней мере, непостоянство контуров материков и океанов, являются лишь далеко не доминирующими компонентами единой эволюции поверхностной оболочки планеты. Основой для формирования суждений об этой большой эволюции было, является и будет исследование геологических разрезов, на которых и только на которых основываются все представления об эволюции гипергенной оболочки («коры») Земли в рамках исторической геологии. О начальных «доисторических» этапах эволюции Земли можно судить только гипотетически, постепенно приближаясь к наиболее вероятным решениям путем постоянного усовершенствования геофизических и геохимических методов.

Данные о трансгрессиях свидетельствуют об обширных и неоднократных вторжениях водной океанической массы в пределы континентов в прошлом. Следовательно, контуры океанов и континентов изменялись. Существуют, правда, доказательства длительной стабильности некоторых структурных форм и геологических тел, системы которых очерчивают современные берега континентов и океанов. Это относится к унаследованно развивавшимся в фанерозое Тихоокеанскому «Огненному поясу» и к периокеаническим прогибам.

Униформистскому подходу в изучении тектоники океанического дна можно противопоставить региональный эмпирический подход. Первое понятие означает распространение представлений, установленных для отдельных участков, на всю поверхность планеты (континента, океана), второе же — планомерное исследование всей поверхности Земли, установление особенностей тектоники отдельных участков и их различий. В первом случае появляются наиболее стройные представления (гипотезы, которые с течением времени и по мере накопления новых фактов и исследования новых пространств и глубин постепенно «разъедаются» и теряют свои универсальность и прочность). Во втором случае может получиться набор несогласованных региональных представлений, не увязываемых в общую концепцию. Для исследователя естественны поиски общих законов, дающих основание для прогнозов, проверяемых рабочих гипотез, что в конечном счете ведет к получению новых знаний, важных в теоретическом, а также в практическом отношении. Однако здесь приходится идти не прямым, а извилистым путем, осложненным постоянными отступлениями и переоценками представлений.

Оба подхода можно хорошо проследить при изучении дли-

тельной и сложной истории континентов, и эти сложности, очевидно, распространяются на пространство океанов. На континентах пространственный униформизм был ярко проявлен в лекциях Вернера и в «канонах орогенических фаз» Штилле, региональный эмпирический подход — в геологической карте, гибкой, изменчивой и многогранной теории геосинклиналей и в получении общих закономерностей посредством построения обобщенных тектонических карт, основанных в конечном счете на геологическом картировании.

То же самое можно сказать об океане. Основывать универсальные представления на ограниченном комплексе данных — это путь соблазнительный, но опасный, даже если речь идет не о Мировом океане в целом, а о такой крупной его части, как Тихий океан. Различные исследователи располагают своими, особенно им «близкими» (или по территории, или по специализации, или по душевному настрою) данными, на использовании которых они могут строить собственные гипотезы и даже возводить их в ранг теорий.

Контракция, движение литосферных плит, расширение Земли и многие другие концепции продолжают не только бытовать в нашей науке, но и претендовать на универсальность, тогда как теория геосинклиналей, основанная на обширных и надежных данных по континентам, весьма мобильна и развивается для различных областей по-разному, отражая региональные закономерности, в которых лишь обнаруживается некоторая общность. Установление общих законов геологического развития континентов является целью геологической науки, но мы находимся на самых начальных стадиях этого пути.

До сих пор о геологии океана еще очень мало известно, особенно о раннем геологическом развитии. Необходимым в познании геологии океанического дна является глубокое бурение, а также геофизические работы. Мировой океан, и Тихий океан в частности, может иметь весьма сложную структуру, и его необходимо исследовать сетью глубоких скважин с помощью геофизики, характеризуя геологию различных районов. Необходимо же оно потому, что разные области океана могут иметь не только различную геологическую историю и развитие, но и различную динамику. Опасно будет делать универсальные выводы по первым глубоким скважинам. Может оказаться, что в одних участках «земная кора» океанического дна расширяется (или расширилась), в других — сжимается (или сжималась); в одних участках и в одни времена континенты или плиты могут двигаться по-мобилистски, а в других случаях и в другие времена могут твердо держаться по-фиксистски на своих пьедесталах. Все это может сосуществовать на Земле и сменяться во времени. Путь выяснения универсальных закономерностей, которые бы проглядывались в мощном пласте разнородных явлений, очень труден и долог. На этом пути важнейшим инструментом развития нашей науки являются и будут являться гипотезы, касающиеся отдельных ареалов или планеты в целом.

Тектоническое районирование по вещественным (формационным) признакам с выделением таких структурных элементов, как геосинклинальные и платформенные области, структурные этажи и т. д., может использоваться для разработки представлений о направлении развития структуры гипергенной оболочки Земли. В основе таких представлений лежит использование пространственных и временных взаимоотношений геологических тел (структурных элементов).

В пределах континентов таким путем можно судить о разрастании и распаде платформ, заложении геосинклиналей на платформенном основании и т. д. Например, сравнивая вертикальные ряды формаций Урала и прилегающих частей Западно-Сибирской плиты, можно прийти к заключению, что в палеозое обе эти территории принадлежали к геосинклинальной области, с мезозоя же территория Западно-Сибирской низменности превращается в плиту, а собственно Урал представляет собой горное складчатое сооружение, испытывающее поднятие. В данном случае можно говорить о превращении части геосинклинальной области в платформенную. Сравнивая вертикальные ряды формаций Восточно-Европейской платформы и Урала, можно заключить, что в течение архейской эры обе территории представляли геосинклинальную область. С протерозоя (во всяком случае, с позднего протерозоя) на территории Восточно-Европейской платформы установились платформенные условия, в то время как Урал в течение протерозойской и палеозойской эр продолжал развиваться как геосинклинальная система. Однако, поскольку нижнедокембрийские толщи Урала изучены недостаточно и данные о них разрознены, его тектоническую эволюцию можно трактовать и иначе. Можно, например, считать, что тараташский гнейсовый комплекс (возраст, по Л. Н. Овчинникову, более 2000 млн. лет), нормальные контакты которого с вышележащими докембрийскими толщами нигде не вскрыты, не является членом непрерывного вертикального формационного ряда Уральской геосинклинальной системы, а принадлежит к распространявшемуся на территорию Урала фундаменту Восточно-Европейской платформы. После того как фундамент был сформирован и наступили платформенные условия, произошло его раздробление и заложение Уральской геосинклинальной системы. За этот вариант говорят, в частности, общие для Восточно-Европейской платформы и Урала поперечные глубинные разломы, установленные геофизическими исследованиями. В первом случае геосинклиналь превращается в платформу, во втором — на месте платформы возникает геосинклиналь. Получаются две диаметрально противоположные концепции, основанные на различных трактовках одних и тех же фактических данных. Многозначность решения объясняется неполной изученностью гипергенной оболочки, невыясненностью положения ее нижней границы.

Поэтому мы имеем дело не с однозначно решаемыми вопросами о направлении развития структуры гипергенной оболочки, а лишь с различными концепциями такого развития. Однозначное решение вопроса тесно связано с изучением структуры оболочки в целом и окажется возможным только при определении нижней ее границы.

В XIX и первой половине XX в. начальные этапы развития геосинклиналей, а также вопросы о времени их заложения не были ясны. С этим было связано представление о постоянном разрастании платформ и сокращении пространств, занимаемых геосинклиналями. Такая идея была высказана в 1924 г. А. А. Борисяком и Г. Штилле. Это был важный шаг в развитии геологической науки. Концепция разрастания платформ устанавливала определенное направление в поступательном ходе развития структуры континента, 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 наступил 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» [Борисяк, 1924, с. 9—10].

Затем стало ясно, что на окраинах платформ вследствие их раздробления и обрушения вновь могли восстанавливаться геосинклинальные условия.

Обнаружение выступов догеосинклинального фундамента в ряде геосинклинальных систем позволяло думать, что геосинклинали не существовали извечно, а образовывались путем раздробления ранее существовавшего консолидированного фундамента. В связи с этим возникали новые системы представлений о распаде «панплатформы» и новообразовании геосинклиналей как ведущей тенденции в развитии структуры гипергенной оболочки.

Затем системы глубоководных океанических желобов и островных дуг стали рассматриваться как современные аналоги геосинклиналей. Если в гипотезах, включающих представления о начальных пангеосинклинальной и панплатформенной стадиях, фигурировали только два состояния гипергенной оболочки — пластичное (геосинклинальное) и консолидированное (платформенное), то представления о «переработке океанической коры» предусматривают, по крайней мере, три ее состояния. Это усложнило ход рассуждений. Так, для двух типов гипергенной оболочки допус-

тимы два процесса перехода — превращения геосинклиналей в платформы (консолидация) и распад (раздробление) платформ с образованием геосинклиналей (регенерация). В соответствующих системах взглядов рассматриваются только эти два процесса, причем одному из них обычно приписываются исключительное и преимущественное значение, затем оцениваются относительная интенсивность, последовательность, периодичность в проявлениях этих процессов и т. д.

С признанием существования трех типов гипергенной оболочки можно допустить, по крайней мере, четыре типа процессов перехода. Кроме упомянутых двух процессов возможен «геосинклинальный процесс», перерабатывающий гипергенную оболочку океанического типа в оболочку континентального типа. При этом часто говорится о «геосинклинальном процессе» как процессе такой переработки. Четвертым является процесс океанизации континентов, который должен сопровождаться насыщением гипергенной оболочки основной магмой и соответствующей метаморфизацией осадочных пород.

Наконец, в связи с появлением и развитием концепции тектоники литосферных плит наметился пятый вариант развития гипергенной оболочки. Он связан с принятием широкого развития процессов спрединга на протяжении геологической истории с первоначальным формированием в обширных спрединговых областях гипергенной оболочки во все геологические времена, вплоть до современной эпохи. Гипергенная оболочка, таким образом, всегда (в рамках обозримой геологической истории) покрывала всю поверхность Земли и все время заново формировалась на «свежей» коре. Возникавший избыток ее поглощался в зонах субдукции и ассимилировался мантией. Таким образом, намечается тектонический кругооборот вещества в условиях большой горизонтальной динамичности. В мыслившихся ранее четырех типах процессов представления о такой динамичности не рассматривались.

Идея о существовании современных аналогов геосинклиналей вдоль окраины океанов, высказанная в 1948 г. Н. М. Страховым, привлекла пристальное внимание многих исследователей. Японское море стало рассматриваться как пример современного геосинклинального бассейна, характеризующегося так по большой крутизне подводного склона, полосовому распределению фаций, флишеподобному переслаиванию осадков и т. д. Островные дуги и моря Дальнего Востока стали рассматриваться как современная геосинклинальная область с характерными резкими контрастами наземного и подводного рельефа, высокой сейсмической активностью, интенсивным вулканизмом, линейной вытянутостью фациальных зон, чередованием зон размыва и осадконакопления и крупными молодыми разломами. Глубоководная область Японского моря трактовалась при этом как современная геосинклиналь, осложненная внутренней зоной поднятия, мелководная и центральная часть Охотского моря — как платформа, испытавшая недавно погружение, впадины Дерюгина и Тинро — как недавно

возникшие краевые прогибы складчатых систем Сахалина и Камчатки, Курильская дуга — как двойная геоантиклиналь, вулканы которой приурочены к глубинному разлому, и т. д.

В дальнейшем глубоководные желоба и островные дуги стали широко трактоваться как современные аналоги геосинклинальных систем, что привело к идее переработки океанического типа гипергенной оболочки в континентальный путем геосинклинального процесса.

Заметим, что в рассуждениях, обычно сопровождающих такие представления, содержатся неточности, обусловленные смешением определяемых различными признаками понятий «гипергенной оболочки» и «земной коры», связанным с часто принятым обозначением их единым термином «земная кора». Структура земной коры, определяемая положением сейсмических разделов, обладает возрастом более молодым, чем структура гипергенной оболочки. Об этом, в частности, говорит связь, устанавливаемая между современным рельефом поверхности Земли и положением глубоких сейсмических разделов. При такой ситуации не совсем правильно утверждать, что геосинклинальный процесс, так же как формирующие гипергенную оболочку процессы накопления осадочных и вулканогенных толщ, может служить аппаратом преобразования одного типа земной коры в принятом смысле этого слова в другой ее тип, аппаратом формирования гранитного слоя и т. д. В частности, имея в виду геосинклинальный процесс, не следует говорить о преобразовании земной коры океанического типа в земную кору континентального типа.

На указанном недоразумении основываются весьма распространенные утверждения, что земная кора океанического типа является первичной, т. е. очень древней и отвечающей догеосинклинальному этапу развития гипергенной оболочки, а континентальная кора — вторичной, образовавшейся в результате весьма длительного геосинклинального процесса. Отсюда следует утверждение, что так называемый «гранитный» слой, отсутствующий в океанах и развитый на континентах, является результатом геосинклинального процесса. В связи с этим иногда утверждается, что «гранитный» слой является более молодым, чем «базальтовый» слой, и что их соотношения являются стратиграфическими. Нельзя говорить также о заложении геосинклиналей на «океанической коре», а тем более на «базальтовом» слое или мантии; нельзя аргументировать представления о заложении протерозойских геосинклиналей на коре океанического типа неглубоким залеганием современного «базальтового» слоя под такими геосинклиналями. Действительно, поверхность Конрада представляет собой подвижную границу, и с протерозоя доныне положение ее могло неоднократно меняться. В свете современных данных о природе сейсмических границ все эти утверждения становятся теперь необоснованными, хотя процессы, формирующие гипергенную оболочку, конечно, имеют опосредованное влияние на структуру земной коры.

В общем идеи «континентализации» гипергенной оболочки океанов основываются на представлении геосинклинального процесса как аппарата, формирующего «гранитный» слой земной коры. Ход мыслей здесь примерно такой: на границе континентального и океанического секторов коры располагается современная геосинклиналь; эта геосинклиналь в ходе развития должна превратиться в платформу; все платформы имеют кору континентального типа; следовательно, завершение геосинклинального процесса в современных геосинклиналях поведет к приращению занятой им площади к континентальному сектору коры; отсюда в свою очередь следует, что континентальная кора разрастается, а океаническая — сокращается. Поскольку континентальная кора отличается от океанической присутствием «гранитного» слоя, можно заключить, что «гранитный» слой обязан существованием геосинклинальному процессу.

Заметим, что в основе всей этой системы рассуждений лежит отнесение островных дуг и глубоководных впадин к геосинклиналям и допущение, что они со временем должны превратиться в платформы.

Представления о «континентализации» и «океанизации» как о сочетающихся тенденциях в развитии структуры гипергенной оболочки также сыграли большую роль в развитии тектоники. Идея океанизации крупных пространств материков достаточно известна. На молодой возраст Индийского и отчасти Атлантического океанов на основании различных соображений (палеогеографическая обстановка, расселение фауны и флоры, расположение складчатых систем и горных кряжей относительно океанических берегов) указывали А. Д. Архангельский, Г. Штилле, Н. М. Страхов.

Г. Штилле, называвший молодые океаны в отличие от праокеанов *неоокеанами*, в качестве палеографического обоснования молодости Индийского океана приводил отсутствие допермских морских отложений на его побережьях. Признаком неоокеанов он считал также отсутствие *автогенных* (собственно океанических) складчатых обрамлений, характерных для Тихого океана, и преимущественное развитие *ксеногенных* складчатых систем, не совпадающих с окраинными зонами океана, а возникших как внутриконтинентальные.

Для неоокеанов характерны атлантические контуры (Э. Зюсс), или «мертвые контуры», т. е. не совпадающие с подвижными складчатыми зонами (Г. Штилле). Н. М. Страхов отмечал, что площади Атлантического и Индийского океанов после их погружения и уменьшения под ними мощности сиалической оболочки (в геофизической трактовке) превратились в тектонические формы особого рода, новые, до того в истории Земли отсутствовавшие и не имеющие себе аналогов.

А. Д. Архангельский и Г. Штилле признавали геосинклинальный или орогенический характер островных систем, но не писали о возможности приращения их к континентам. Таким образом,

представление о преобразовании океанической коры или океанической гипергенной оболочки не вытекало из работ этих исследователей. Только в работах Н. М. Страхова, который, с одной стороны, допускал океанизацию (появление Атлантического и Индийского океанов), с другой стороны, называл островные системы современными аналогами геосинклиналей, намечается сочетание обеих тенденций в развитии структуры гипергенной оболочки.

Под многими впадинами (например, синеклизами) внутри континентального сектора существенно изменяется структура коры с приближением ее к океаническому типу. Однако это еще не означает начала устойчивого процесса океанизации коры: скорее здесь мы имеем дело с местными и временными изменениями ее структуры. Тем труднее думать, что с образованием этих впадин ликвидируется гипергенная оболочка континентального типа с ее сложной структурой и этажностью и переходит в океанический тип. Сомнение в том, что образование некоторых впадин, сопровождаемое подъемом раздела М, не означает начала океанизации гипергенной оболочки, основывается на историко-геологических данных. Внутри континентов в прошлом неоднократно возникали впадины, под которыми на основании сравнения с современными аналогичными впадинами с высокой степенью вероятности можно предполагать существование зон изменения структуры коры. Однако эти древние впадины заполнились осадками, «зарубцевались», и сейчас мы на их месте наблюдаем нормальное для континентов строение коры. Мы вправе предполагать, что с появлением и развитием впадин связаны появление, развитие и исчезновение локальных аномалий строения коры. Если это так, то локальные аномалии строения коры, наблюдаемые в районах современных или молодых впадин, являются преходящими и не означают окончательной ее океанизации. Мало того, можно также думать, что океанизация коры в таких впадинах, как Черноморская, Тирренская, Япономорская, Охотоморская и другие, также является преходящим явлением, не исключено что осадконакопление, складкообразование и другие геологические процессы еще вернут здесь кору в континентальное состояние. С большой вероятностью можно предполагать, что появление, развитие и замыкание геосинклиналей также связано с местными и временными аномалиями строения коры, что вполне согласуется с данными о подвижности сейсмических границ. Если стать на такую точку зрения, то развитие геосинклиналей необязательно ведет к необратимым изменениям структуры коры, как этого требует концепция континентализации.

Однако было бы неправильным огульно отрицать влияние геосинклинального процесса (т. е. процесса становления и переобразования осадочной оболочки) на структуру земной коры. Геосинклинальный процесс в целом, несомненно, влияет на состав гипергенной оболочки, так как он сопровождается складчатостью и скучиванием осадочных толщ, а также привносом в нее извне (снизу) значительных масс магматического материала. Изменение

же вещественного состава гипергенной оболочки не может не повлиять на поведение сейсмических разделов в земной коре.

Новый вариант представлений о развитии гипергенной оболочки путем сочетания процессов континентализации и океанизации заключается в том, что временами (главным образом, соответствующими крупным геотектоническим циклам) происходит дробление, растяжение и растаскивание прежней континентальной коры, образование спрединговых районов, в которых непосредственно на раскрывшемся «океаническом» субстрате развитие более молодых геосинклинальных комплексов приводит к образованию относительно молодых континентальных кор. Такая концепция тесно связана с представлениями о тектонической природе офиолитовых чешуй и связи их с океаническим субстратом и с подошвой земной коры.

М. С. Марков и другие исследователи в работе «Тектоника Востока Азии...» [1979] рассмотрели этот вопрос для Дальнего Востока и Северо-Востока СССР. Не будем заострять внимание на вольном пользовании в этой работе геофизическими терминами «кора» и «гранитный слой»; в конце концов ясно, что хотят сказать авторы и что соответствующие термины геологического (горнопородного) содержания еще не придуманы и что основная причина этого в неопределенности геологических границ подобного рода тел. Надо, по-видимому, пока не установлены эти границы, дать название произвольным телам, отвечающим таким понятиям. Представления о структуре Северо-Востока СССР, Азии даны на основании формационного (вещественного) материала, на котором только и могут быть основаны представления о геологической структуре и ее развитии.

По мнению М. С. Маркова и других исследователей, в конце архея (3—3,5 млрд. лет) сформировался *протометаморфический слой* (*протокора*), из которого возник в результате скучивания, метаморфизма и гранитизации материк с мощным гранитным слоем; предположение о существовании базитового ложа этого материка аргументируется данными Н. В. Фроловой. Позднее в Восточной Сибири обособляется океаническая область. В океанической области «на меланократовом фундаменте происходило формирование преимущественно базальтоидных комплексов океанической стадии (усть-гилюйская серия)... Гнейсы и кристаллические сланцы образовывались по породам спилит-диабазовой, *граувакковой*, *железисто-кремнистой*, *кремнисто-карбонатной* формаций, ассоциирующихся с габбро-амфиболитами и гипербазитами» [«Тектоника Востока Азии», 1979, с. 7]. В структуре Алданского щита отмечаются рифтовые шовные прогибы (троги), образовавшиеся в начале раннего протерозоя после образования протокоры, но до накопления осадочной толщи. Троговые комплексы сложены спилитами, диабазами, кератофирами, песчаниками, кварцитами, конгломератами. Троги трактуются как явления раскрытия зеленокаменных поясов без признаков компенсирующего сжатия, иначе говоря, как «всеобщее растяжение». Вот

здесь-то и фиксируется момент начала формирования континентальной земной коры за счет коры океанического типа, что было связано с деструкцией протокоры. Строение дорифейского Сибирского блока континентальной коры таково — реликтовый массив протокоры, окруженный кольцом «зрелой континентальной коры». Яно-Колымская, Чукотская, Восточно-Арктическая системы являются многеосинклиналями на дорифейском основании, а Омолонский и Охотский массивы — его выступами. Как видим, вся эта схема полностью отвечает выдвинутой нами в 1962 г. для сибирского докембрия концепции о Северо-Азиатском кратоне и эпикратонных геосинклинальных системах.

Далее М. С. Марковым с соавторами рассматриваются следующие события:

1) новообразования коры в конце палеозоя: раздробление дорифейского фундамента Амуро-Зейской и Буреинской зон Северо-Восточного Китая и Юго-Западного Приморья с появлением грабеновых фаций — песчаников, кремнистых сланцев, диабазовых силлов, конгломератов, карбонатно-эффузивных толщ, яшм, кремнистых сланцев, граувакк; «судя по этим данным, в рассматриваемых районах имело место более глубокое растяжение дорифейской континентальной коры, поэтому наряду с формированием *комплексов, близких к океаническим, оказывались также* выведенными на поверхность тела ультрабазитов и габбро, включенные в серпентинитовый меланж» [«Тектоника Востока Азии», 1979, с. 10]; 2) новообразования коры к началу позднего мела в Олойской, Алазейской, Южно-Анюйской, Иньяли-Дебинской, Приомолонской и Амурско-Охотской зонах; в качестве доказательств заложения геосинклиналей на «океанической коре» приводятся не только разрезы кремнисто-вулканогенных, граувакковых и флишевых толщ Сихотэ-Алиня, но и наличие между бухтами Успенья и Киевка аллохтонной пластины, образованной амфиболитизированными габбро, амфиболитами, мраморами, кремнистыми породами, а выше глинистыми сланцами.

Как видно из характеристик разрезов, они соответствуют восходящим к Л. Коберу, а затем развитым советскими геологами представлениям о геосинклинальном ряде формаций. Тогда геосинклинали рассматривались или как реликтовые от более ранних стадий развития Земли, постепенно изживающие себя структуры, или же как новообразования, которые нельзя было не связывать с деструкцией субстрата. В изложенной же концепции геосинклинали развиваются на «океанической коре». Но никаких образований, близких к составу современного океанического дна, в этих геосинклиналях нет. И сами авторы в заключение об этом пишут: «Сопоставление геологических разрезов дна Тихого океана *и разрезов, отвечающих ранней стадии развития* геосинклиналей, выявляют их существенные различия. Собственно океанические комплексы и формации целесообразно называть «ортоокеаническими» в отличие от «параокеанических», свойственных ранним стадиям развития зон перехода от океана к континенту» [«Текто-

ника Востока Азии», 1979, с. 19]. Это очень существенное отступление от концепции развития геосинклиналей на океанической коре, так как существование «парагеосинклинальных» комплексов известно и внутри континентов. Конечно, всегда можно допустить такие перемещения блоков, которые любую геологическую структуру или формацию могут сделать «параокеанической» (околоокеанической), но ведь это будет всегда гипотеза, требующая обоснований применительно к конкретной обстановке.

Теперь обратимся к истокам этой концепции и вспомним сенсационные статьи, опубликованные тоже с участием М. С. Маркова [«Палеозоиды...», 1972; «Проблемы...», 1981]. В них сказано, что геолого-геофизический материал, полученный в океанах, произвел «настоящий переворот в наших представлениях о строении не только океанов, но и континентов, позволив перейти от анализа структур самых верхних горизонтов литосферы... к пониманию эволюции земной коры в целом» [«Проблемы...», 1981, с. 7]. Здесь все понятно. Во-первых, наш вековой «континентальный» геологический багаж, как было показано выше, остается фундаментом геологических знаний, в основном инвариантным к возможным мобилистским и фиксистским концепциям; конечно, сосредоточение внимания на отдельных объектах и новые трактовки ряда геологических явлений в связи с принимаемыми концепциями вполне естественны. Во-вторых, не изучение океанов, выясненная геологическая история которых пока не уходит раньше мезозойской эры, а именно изучение континентов с их древнейшими архейскими толщами, с более чем в десять раз длительной геологической историей давно уже привело нас к пониманию ранних этапов развития Земли. Изучение океанов позволило выдвинуть новые гипотезы, так как гипотезы являются не основанием для научных выводов, а лишь инструментом для размышления. В цитируемых работах главным является приравнивание офиолитовых формаций к океанической коре, но это утверждение существенно смазано последующим выделением параокеанических комплексов. В тех же работах развита идея нахождения океанического дна геосинклинали почти исключительно в чешуях и огромного распространения шарьяжей (шарьяжи настолько грандиозны, что тектонические покровы кристаллических пород Гондваны полностью перекрыли океаническую кору палео-Тетиса, а также значительную часть Альпийской геосинклинальной структуры). Олистостромы считаются свидетелями горизонтальных подвижек, хотя это гипотеза, относящаяся к тому же только к частным случаям. Горнопородные и геофизические (скоростные) тела и границы, относящиеся к разным признаковым пространствам, сочетаются без соблюдения принципа специализации. Речь идет о поверхности геологического прошлого, отделявшей гарцбургиты верхней мантии от габброидов «базальтового слоя», о «базальтовом слое» океанической коры прошлого и т. д. Здесь две неточности. Во-первых, нельзя говорить о скоростных разделах прошлого, так как о них мы вообще ничего не знаем, во-вторых, нельзя

приписывать верхней мантии и «базальтовому слою» определенные горнопородные значения, особенно в прошлом, для которого проверить это принципиально невозможно. С той же легкостью структурно-фациальные зоны геосинклинальных систем прошлого приравниваются к окраинным структурам современных океанов. Так, «зоны с преобладанием вулканогенных пород узки по сравнению с областями терригенных отложений. По-видимому, первые сопоставимы с островными дугами, вторые — с краевыми морями... Сходство рассмотренных эвгеосинклинальных толщ с отложениями островных дуг и краевых морей — очевидно» [«Проблемы...», 1981, с. 11]. Краевые моря и островные дуги приравниваются к переходной стадии развития геосинклиналей, разделяющей океаническую и континентальную (характеризующуюся расширением площади прогрессивного метаморфизма и гранитизации, появлением внутрикоровых очагов гранитной магмы) стадии. Таким путем обосновывается мысль о том, что система краевых морей и островных дуг представляет современные развивающиеся геосинклинали (в их переходной стадии). Все это отвечает старой гипотезе наращивания континентов за счет океанов. Но ведь может быть и другое решение вопроса, а именно: рассмотрение системы краевых морей и островных дуг как мобильной оторочки древнейшего Тихоокеанского блока Земли.

Вернемся к вопросам тектонической картографии в свете этого нового представления о тектонической эволюции гипергенной оболочки. Прежний метод тектонического районирования по возрасту складчатости был основан по существу на формационном (структурно-вещественном) анализе, на геологических картах, хорошо геологически интерпретируемых и проверяемых неглубокими геофизическими исследованиями, а также бурении. Это давало возможность выделять структурные элементы или изображать структурные поверхности на тектонических картах любого масштаба. Заметим, что геосинклинальные ряды с их начальными, в том числе офиолитовыми, формациями, а также разрезы докембрия вплоть до нижнего архея были известны задолго до составления первой тектонической схемы СССР 1933 г. и учитывались во всех последующих картах (СССР — 1953 и 1956 гг., Европы, Евразии и т. д.). Этот метод был «для того времени естественным, так как исследователи не знали начала геологического процесса» [«Палеозоиды...», 1972, с. 6]. Но ведь они же знали в отношении вещества гипергенной оболочки, включая геосинклинали и докембрий, почти то же самое, что и сейчас (хотя, конечно, фактический материал прибавился и весьма значительно), а следовательно, речь может идти не о знаниях, а о представлениях. «Новые теоретические исследования в тектонике показали,— читаем мы далее,— что сущность геосинклинального процесса заключается в структурном и вещественном преобразовании океанической коры в континентальную [«Палеозоиды...», 1972, с. 7]. Но это, впрочем, только гипотеза, так как уверенных доказательств идентификации начальных офиолитовых толщ эвгеосинклиналей континентов и

океанических комплексов пока не существует. Не существует также пока никаких прямых данных идентифицирования офиолитовых комплексов с зоной М, не говоря уже о том, что такая идентификация методологически неверна вследствие игнорирования принципа специализации. Отсюда следует, что понимание авторами сущности геосинклинального процесса покоится на весьма шатком основании.

Несмотря на все высказанные сомнения, отметим, что подход [«Тектоника Востока Азии», 1979; «Палеозоиды...», 1972; «Проблемы...», 1981] к составлению карт — структурно-вещественный, т. е. надежный. Однако формационные комплексы относятся к океанической, переходной и континентальной стадиям и развития земной коры». «Кора» здесь ни при чем; чтобы употреблять этот термин в геологическом смысле, следует дать ему определение, а такого определения нет (поэтому получаются терминологическая путаница и смешение признаковых пространств). Отнесение же структурно-вещественных комплексов к стадиям ничем не хуже, чем отнесение их к «возрастам складчатости». И в том и другом есть преимущества систематизации и недостатки условности и иносказания; в обоих случаях вещество и структура кодируются в терминах ретроспективных конструктов.

Однако главным принципом «нового тектонического районирования Северной Евразии» является «время становления континентальной коры, а внутри районов с одновозрастной континентальной корой — время формирования гранитно-метаморфического слоя» [«Палеозоиды...», 1972, с. 7]. Если геологические понятия «кора» и «гранитно-метаморфический слой» свободного пользования (т. е. без формальных определений, а значит, без необходимой определенности объектов), то и сама задача тоже неопределенна. Изображение областей с континентальной «корой», сформировавшейся к началу рифея, уточняет строение докембрийского фундамента древних платформ с новых позиций. Для областей с континентальной «корой», сформировавшейся к началу девона, «гранитно-метаморфический», т. е. самый нижний слой, определяется как рифейский. Предполагается, что формирование «коры» здесь происходило в районах позднедокембрийских — раннепалеозойских океанов, а это значит, что доверхнедокембрийские отложения здесь отсутствовали. Образование венда или нижнего палеозоя ложились прямо на «океаническую кору» (а то и непосредственно на поверхность М). Область же «коры», сформировавшейся к началу девона, огромна; она обнимает дугу шириной до 1000 км, включающую значительную часть Монголо-Охотского пояса, Монголии, Алтае-Саянскую область, полосу в недрах Западно-Сибирской геосинеклизы, простирающуюся к Полярному Уралу и Новой Земле, а кроме того, огромную приполярную ветвь, захватывающую Ирландию, Великобританию, Шпицберген и включающую большую часть Таймыра. Возникает вопрос: на каком основании можно считать, что на этом огромном пространстве отсутствуют дорифейские отложения? Никаких оснований

к этому нет. Можно сказать только, что неизвестно, есть они здесь или нет, а дальше высказывать гипотезы. Например, можно считать, что они в целом имели здесь сплошное распространение и что никакой «океанической коры» не было. Можно, конечно, считать, что здесь разломалась и разошлась протокора и на новообразованном (первичном «океаническом» ложе, меланократовом фундаменте) субстрате стали отлагаться вендские и более молодые толщи. Это только две гипотезы, а их может быть больше. В частности, можно предположить, что в одних местах этой области формировался докембрий, а в других местах были отдельные разрывы и расхождения (спрединг). Возможно, что в докембрии, позднем или раннем, произошли большие излияния основного и ультраосновного материала на поверхность Земли и получилось, таким образом, некое подобие новообразованной «океанической коры» или меланократового фундамента. В общем, можно думать по-разному и выдвигать разные гипотезы, но гипотезы не могут являться основой тектонического картирования, которое должно отображать реальные наблюденные геологические границы и тела, а также располагать анализами горных пород, характеризующих эти тела.

На рассматриваемой схеме выделены далее области с «корой», образовавшейся в позднем палеозое. «Гранитно-метаморфический» слой — отложения венда. Эта область обнимает огромные территории в районе Буреинского массива, Южной Монголии, Китая, Западно-Сибирской низменности, весь Урал, полосу от Тянь-Шаня до Добруджи, герцинскую Европу; ширина зоны здесь также достигает 1000 км. Выделяются области с континентальной «корой», сформировавшейся к середине триаса и продолжавшей формироваться в мелу (пермский «гранитно-метаморфический слой», мезозоиды Северо-Востока и Дальнего Востока СССР, Япония, а также другие области). В этих областях отложения перми сформировались на океанической коре, а более древние образования отсутствуют. Далее выделяются области с формирующимся меловым (север Охотского моря и др.), палеогеновым (юг Охотского моря и др., Сахалин, Камчатка и др.) и формирующимся в островных дугах (Алеутская дуга, Курильская дуга, восточное побережье Камчатки) «гранитно-метаморфическим слоем». Наконец, обозначаются глубоководные впадины окраинных морей, лишенные «гранитно-метаморфического слоя». Такое районирование соответствует фактическому материалу (драгирование, сейсморазведка). Области Охотского и Японского морей мы имеем основание предположительно считать соответствующими сформировавшимся, хотя и очень молодым платформам — «неоплатформам», в Японии же известен докембрийский фундамент, а на Сахалине, по крайней мере, допалеогеновый. В Охотоморской глубоководной впадине, по данным гравиметрии, сохранились реликтовые континентальные складчатые структуры и т. д.

Утверждение о том, что большая часть Альпийско-Гималайского пояса сложена «аллохтонными фрагментами более древней

континентальной коры» [«Палеозоиды...», 1972, с. 22], признание, что формирование «коры» обусловлено практически лишь горизонтальными движениями континентов, обрамляющих океан Тетис, что океан погребен под надвигавшимися континентами, а также что меланократовый фундамент находится только в тектонических чешуях, утверждение об аллохтонном перекрытии триасово-юрского палео-Тетиса не обоснованы разработкой какого-либо реального механизма, порождающего эти явления.

Несоблюдение принципа специализации и приписывание скоростным телам и разделам (например, М) горнопородных свойств совершенно не обеспечивают корректности принимаемых представлений и придают работе в целом умозрительный характер. Наконец, здесь имеет место совершенно вольное использование *принципов актуализма. Он, вернее, не использован*, а лишь в декларативном виде объявлено о его использовании в реализуемой концепции. Действительно, нельзя отождествлять древние структуры с окраинными морями, островными дугами, шельфами и т. д. Здесь две неточности. Во-первых, перечисленные объекты являются лишь морфоструктурными (геоморфологическими) элементами. Во-вторых, принцип актуализма заключается не в простом *сравнении объектов, а в распространенной аналогии* с генетическим содержанием. Но процесс формирования современных окраинных морей, шельфов и т. д. мы непосредственно не наблюдаем. Точных данных нет, есть только множество (по крайней мере, три группы) противоречивых гипотез относительно происхождения краевых морей. Поэтому, естественно, применение принципа актуализма невозможно, даже если бы окраинные моря были бы «структурами земной коры».

Можно думать, что с развитием и даже с расцветом идей плитной тектоники вопросы образования платформ, их разрушения, континентализации и океанизации стали излишними. На самом деле это далеко не так. Вопросы эти совершенно независимы и самостоятельны. Они полностью сохраняют свое значение в геологии. Движение плит — одно, а формирование и разрушение континентов и океанов — другое. *Эти вопросы могут рассматриваться* как независимые друг от друга, так и во взаимной связи. К сожалению, совместному рассмотрению этих двух проблем пока не уделяется необходимого внимания.

Возможны, по крайней мере, три предположения относительно строения и развития гипергенной оболочки океанического типа.

Во-первых, она может представлять погруженный блок континентальной оболочки, *развивавшейся ранее посредством «обычных»* геосинклинальных процессов, а в океанической стадии своего существования — измененной за счет глубинных процессов океанизации (уплотнение, метаморфизм, инъекции основных магм, эклогитизация).

Рисуемый В. В. Белоусовым механизм «океанизации» предусматривает распад гипергенной оболочки и поглощение ее обломков мантией. Однако можно мыслить и иначе. Так, во-первых,

представляется маловероятным, что поднявшаяся кверху, внедрившаяся в гипергенную оболочку и выплеснувшаяся наружу основная и ультраосновная магма затем своей тяжестью затянет блоки гипергенной оболочки на глубины мантии, которая сама сложена не менее тяжелым материалом. Такое затягивание блоков вниз возможно только при значительной инверсии плотностей, существование которой трудно предположить. Скорее можно допустить, что подобный процесс мог осуществляться путем обильных послойных и трещинных инъекций магмы в погружающиеся блоки гипергенной оболочки континентального типа. При этом гипергенная оболочка увеличилась бы в объеме и плотности. В измененной этими процессами гипергенной оболочке должны сохраниться в какой-то мере хотя бы реликты ее прежней «континентальной» (геосинклинальной, складчатой) структуры, которая, возможно, будет обнаружена точными геофизическими наблюдениями на уровнях «базальтового» слоя и мантии под океанами.

Во-вторых, гипергенная оболочка океанического типа может быть результатом длительного и сложного осадочного процесса (включая излияния лав, чередующихся с осадочным материалом), но развивавшегося существенно иначе, чем в пределах континентов. Она может представлять собой толщу осадочных и вулканогенных пород, располагающихся на первичной (доосадочной) поверхности планеты. Роль осадочных пород в этой толще, вероятно, сравнительно невелика. В пользу этого говорят данные по скоростям осадконакопления. При средней скорости седиментации в южной части Тихого океана 0,4 мм за 1000 лет на формирование одного только «осадочного» слоя сейсмологов должно было, по Г. У. Менарду, уйти 1,4 млрд. лет. Однако скорость не везде такова. На востоке экваториальной части Тихого океана она достигала 6 мм за 1000 лет, а у берегов Калифорнии — 20 мм за 1000 лет. Роль вулканогенного материала в строении гипергенной оболочки океанического типа весьма значительна. Если учесть подсчитанные Г. У. Менардом объемы эффузивных пород, излившихся за последние 100 млн. лет, а также принять во внимание, что отложение осадочных и эффузивных пород должно было происходить в пространстве океанов хотя бы и с очень небольшой скоростью и в предшествующие 3—3,5 млрд. лет, то станет ясно, что гипергенная оболочка океанического типа не представляет собой весьма тонкий слой, соответствующий «осадочному» слою сейсмологов, как это иногда рисуется, а уходит своими корнями в глубины «базальтового» слоя и, вероятно, мантии. Таким образом, при обоих предположениях о происхождении гипергенной оболочки океанического типа (океанизации или формирование в океанах) она оказывается достаточно мощной, что исключает возможность существования не только в наше время, но и в прошедшие геологические эпохи, соответствующие времени формирования гипергенной оболочки континентального типа, «голой» первичной океанической коры без стратисферы.

В-третьих, гипергенная оболочка океанов могла начать формироваться в разные моменты геологической истории на новообразованном глубинном субстрате в соответствии с концепцией спрединга.

Следует считаться с возможностью одновременного существования трех подтипов океанической гипергенной оболочки, соответствующих трем сделанным предположениям, а также с тем, что под отдельными участками океанического дна могут располагаться погруженные, слабо измененные блоки гипергенной оболочки континентального типа, хотя земная кора на таких участках может приближаться к океаническому типу. Погруженным измененным и неизмененным блокам континентальной гипергенной оболочки могут соответствовать внутренние моря западной окраины Тихого океана. Так, котловина Японского моря, Южно-Китайское море и отчасти Коралловое море могут представлять собой такие погруженные блоки. Это подтверждается построениями Н. А. Богданова, показывающими общность структурно-формационных зон палеозоя для Азиатского континента, Сахалина и Японии и вероятное распространение этих зон на пространство, занятое ныне Японским морем.

Такими же опущенными блоками гипергенной оболочки континентального типа могут быть Берингово море, Тасманово море и море Скотия, Японское и Филиппинское, поскольку на ограничивающих их островах выступают древние породы континентального облика.

Наличие выступов метаморфических пород неопределенного возраста на южном окончании Марианской дуги, на о-вах Японской группы, а также на о-вах Кермадек и Тонга позволяет предполагать, что Филиппинская и Западно-Марианская котловины и море Фиджи могут представлять собой также погруженные блоки гипергенной оболочки континентального типа. В пределах некоторых из этих блоков континентальный тип коры преобразовался в океанический с поднятием раздела М подобно тому, как это в несколько меньшей степени имеет место во многих впадинах, расположенных в пределах континентов (Прикаспийская впадина, Западно-Сибирская геосинеклиза, Днепровско-Донецкая впадина и многие другие).

Рассматривая развитие структуры гипергенной оболочки, следует строго отграничивать его от процесса развития структуры земной коры. Развитие структуры гипергенной оболочки — это процесс прежде всего аккумулятивный: гипергенная оболочка на фоне непрерывных перераспределений слагающего ее материала на поверхности Земли постоянно наращивается за счет поступления магматического материала извне (снизу). Таким образом, гипергенная оболочка на протяжении геологической истории Земли должна была утолщаться. Ни нижняя поверхность гипергенной оболочки, ни время начала ее формирования нам неизвестны. Таким образом, вопрос о возможности распада гипергенной оболочки в ее нижней части остается открытым. Распад же

ее в соответствии с механизмом «океанизации» В. В. Белоусова, как уже отмечалось, представляется маловероятным.

Развитие структуры земной коры — это процесс в значительной степени обратимый. Так, «гранитный» слой или даже земная кора в целом не являются непосредственным результатом какой-либо аккумуляции вещества, а являются зонами, в которых это вещество приобретает определенные физические свойства, часто зависимые от PT-условий. При изменении условий меняется структура коры. Структура земной коры является подвижной относительно структуры гипергенной оболочки и, в частности, локальный геосинклинальный процесс (заложение, развитие и замыкание геосинклиналей), по-видимому, сопровождается локальными и преходящими аномалиями структуры коры.

Какая бы гипотеза образования гипергенной оболочки океанического типа ни была принята, следует считать, что гипергенная оболочка океанического типа достаточно развита и соразмерна с точностью до порядка с гипергенной оболочкой континентального типа. Эти два типа различаются по составу, что отражено в геофизических характеристиках земной коры на континентах и в океане. Это касается Тихоокеанского пояса в целом, так как в пределах занимаемой им широкой полосы, с одной стороны, отдельные глыбы континентальной оболочки могли погружаться и претерпевать значительные изменения, например, за счет инъекций базальтов, с другой — на отдельных участках структура оболочки океанического типа могла изменяться за счет накопления осадочных толщ и складкообразования в них.

Остается неясным вопрос о существовании в архее Тихоокеанского пояса и разделяемых им полусфер с совершенно различным составом и строением гипергенной оболочки. Представляется более естественным связывать эти элементы с первичной неоднородностью планеты, чем допускать грандиозные и маловероятные события, столь резко изменившие лик ранее однородной Земли. Предположение о первичной неоднородности нашей планеты является, конечно, сугубо гипотетическим. Однако в пользу его говорит стационарное (в топологическом смысле) положение Тихоокеанского пояса, по крайней мере, с протерозоя. Трудно что-либо высказать о возможной природе предполагаемой первичной неоднородности Земли. Скорее всего, ее можно связывать с существенными неправильностями формы Земли до приобретения ею фигуры гидростатического равновесия.

Из процессов, с которыми связаны внутриконтинентальные преобразования структуры гипергенной оболочки, особое значение имеют два. Первый из них — это Большая регенерация, с которой связан частичный распад архейских платформ; этому обязаны прямолинейные и угловатые очертания древних платформ, однако неясно, что существовало до этого — Мегагея Г. Штилле или грубо оформленные «заготовки», из которых древние платформы получались в результате последующей «огранки». Последнее предположение более вероятно, поскольку отколотые глыбы

архейского фундамента встречаются в непосредственной близости от платформ и местами наблюдаются постепенные переходы от архейских толщ к протерозойским, указывающие на существование участков непрерывного прогибания и осадконакопления одновременно с раскалыванием приподнятых и денудированных глыб архейского фундамента. С другой стороны, структура обширных протерозойских геосинклинальных областей явно связана с раскалыванием их субстрата. Об этом говорит, например, морфология Алтае-Саянской геосинклинальной области (в протерозое), которая состоит из линейных (шовных) вулканогенных геосинклинальных и ограниченных или изометричных и угловатых карбонатогенных геоантиклиналей. Однако надо учитывать, что субстратом таких геосинклинальных областей необязательно мог быть архейский фундамент. Ведь твердое состояние Земли на уровнях глубин земной коры и верхней мантии вполне обеспечивает дробление и образование блоковых структур вне зависимости от характера предшествующего геологического развития. Представляется, что с Большой регенерацией или также с раздроблением гипергенной оболочки, происходившим в межплатформенных областях еще раньше, связаны зарождение и развитие классического постархейского геосинклинального процесса, который, может быть, в общем своем итоге как-то изменял строение коры. Этот геосинклинальный процесс заключается в заложении геосинклиналей и геосинклинальных систем, их развитии, замыкании и превращении в складчатые сооружения. Процесс имел определенное направление развития и завершался максимальными проявлениями гранитного магматизма и образованием краевых прогибов на окраинах древних платформ.

Второе значительное событие относится к концу палеозоя — началу мезозоя и выражается в возникновении обширных областей опусканий, в целом не унаследованных, только отдельные уступы в них и некоторые участки их контуров повторяют простирания структурных элементов основания. Такие области опусканий изометричных, линейных и амебообразных очертаний известны в пределах всех континентов (Западно-Сибирская геосинеклиза, Туранская плита, Прикаспийская впадина, Северо-Германская впадина, Голф и т. д.). Положение этих областей опускания относительно древних структурных элементов свидетельствует о том, что они возникли в результате самостоятельного глубинного процесса, ход которого не обусловлен и не ограничен существовавшей до этого структурой гипергенной оболочки. Образование областей опускания связано с изменением структуры коры, в частности с уменьшением ее мощности.

По расположению относительно древних структурных элементов, характеру изменений структуры коры и, наконец, по возрасту периферических частей эти области опусканий весьма сходны с впадинами Атлантического и Индийского океанов, размеры которых, однако, значительно больше, что частично может быть связано со спрединговым процессом, принимаемым с позиций

плитной тектоники. Необязательно, конечно, считать, что акватории этих океанов целиком могут представлять собой области молодых опусканий; вполне возможно, что они включают небольшие сравнительно с Тихим праокеаны. Тем не менее процесс крупных опусканий, сопровождавший изменение структуры коры, представляется общепланетарным и совершенно самостоятельным. С опусканиями сопряжено поднятие крупнейших континентальных сводов, осложняющихся внутриконтинентальными впадинами и другими структурными формами континентального ряда.

# ГЛАВА IV
# ТЕКТОНИКА ДОКЕМБРИЯ

Строение и геологическое развитие континентальных и океанических блоков как типов крупнейших геологических структурных элементов Земли, а также платформенных и геосинклинальных областей характеризуются на основе изучения фанерозойских и отчасти верхнедокембрийских, обычно наименее метаморфизованных, первично слоистых толщ инфракембрия (рифей, синий, венд и др.). Ниже них располагаются ныне выступающие на поверхности на щитах и слагающие фундаменты древних платформ серии нередко глубоко метаморфизованных пород, относимых к раннему докембрию. В раннем докембрии признаки гипергенной оболочки сохранились далеко не повсеместно, так как глубокий метаморфизм в значительной степени стирал черты, указывавшие на формирование первичных пород в условиях поверхности Земли. В связи с этим в раннем докембрии не проявляются достаточно отчетливо привычные для фанерозоя крупные структурные формы и элементы, такие как континентальные и океанические, платформенные и геосинклинальные области, геосинклинальные системы, геосинклинали, геоантиклинали, срединные массивы и т. д. Восстановление истории Земли в раннем докембрии значительно затруднено по сравнению с более поздними этапами. Но не только поэтому ранний докембрий лишь в незначительной степени доступен непосредственному наблюдению. На огромных пространствах акваторий он недоступен непосредственному изучению. По некоторым представлениям на большей части дна океанов его вообще нет, что связывается со спредингом и новообразованием коры, а на континентах он наблюдается на щитах, срединных массивах и отдельных выступах в складчатых системах. Вместе с тем, учитывая запросы и интересы геологической науки, существует настоятельная потребность познания состава, строения и истории развития раннего докембрия для всей Земли или, по крайней мере, для ее внешних оболочек в целом, так как через такое познание лежит путь к реконструкции ранних этапов существования Земли и, в конечном счете, представлениям о ее происхождении.

Однако ограничения, накладываемые слабой обнаженностью и глубокими преобразованиями первичного вещества и признаков первичного строения, чрезвычайно затрудняют путь к однозначным решениям. Отсюда широкое использование научных гипотез, которые становятся совершенно необходимым и важнейшим инструментом исследования и познания, что, естественно, ведет к самым разнообразным представлениям о структуре, истории и развитии раннего докембрия. Нельзя утверждать, что та или иная

гипотеза верна или неверна, но все они (вернее, их сложная, противоречивая, но взаимосвязанная совокупность) являются полезными на данном этапе решения проблемы.

Учитывая большие глубины Земли, в которых скрываются, а следовательно, будут рано или поздно раскрыты все новые и новые «истины», период гипотез с их конструктивными противоречиями, а также антагонистическими противостояниями в изучении раннего докембрия будет еще очень длительным. Такой процесс познания и приближения к истине в данной ситуации необходим и закономерен. Существующие же к настоящему времени разнообразные глобальные представления о раннем докембрии могут рассматриваться лишь как гипотезы или модели.

Учитывая сказанное, еще раз подчеркнем, что изучение раннего докембрия и неогея требует существенно различных подходов. Тонкая слоистая структура фанерозоя определяется хорошо разработанными региональными и едиными стратиграфическими шкалами; особенности и детали этой структуры уточняются литостратиграфическими и геофизическими методами.

Метаморфические процессы в известной мере выравнивают физические свойства геологических образований и ограничивают возможности геофизических исследований первичной геологической структуры раннего докембрия. Остатков фауны и флоры здесь очень мало, и практически они не имеют руководящего значения. Метаморфическая зональность накладывается на стратиграфическую последовательность напластования. Хронорадиометрическими измерениями, по-видимому, не может быть обосновано выделение изохронных поверхностей; слишком велики разнообразие и влияние последующих событий.

Следует иметь в виду, что радиометрический возраст (или, как говорили, «абсолютный возраст») — это не более чем возраст последней кристаллизации или рекристаллизации. Мало того. Этот возраст реконструирован и относится скорее к логическому, чем к физическому времени. Стоит породе расплавиться или претерпеть новый глубокий метаморфизм, как стирается ее радиометрический возраст, а возможно, и выпадает отрезок геологической истории и возобновляется новый отсчет времени. Поэтому, когда речь идет о низах гипергенной оболочки или ее глубинной тектонике, к приводимым в литературе цифрам радиометрического возраста следует относиться с учетом сделанных оговорок, даже если дело касается возраста Земли. Цифры радиометрического возраста не дают основания для построения идеальных изохронных поверхностей. Цифры эти, будучи даже одинаковыми (хотя бы в пределах точности), могут так «плясать» в пространстве — времени, имеющем более совершенную систему отсчета, что проведенные по ним изоповерхности могут рассматриваться только как *«шершавые» псевдогеоизохроны*.

## МЕТОД АКТУАЛИЗМА

Метод актуализма является важнейшим инструментом восстановления геологических событий, обстановок, генезиса объектов и геологической истории для фанерозоя и инфракембрия (в широком смысле). Отметим некорректность применения к ранней истории Земли терминов и понятий «кора» и «мантия». Соответствующие им объекты надежно установлены сейсмологическими методами для современной Земли. При переходе к прошлому эти сейсмологические тела наполняются новым геологическим (горнопородным, формационным) содержанием, так как сейсмологические границы «скользят» относительно геологических тел лито-биостратиграфических специализаций. При переходе же к ранним этапам развития Земли они не только меняют свое положение относительно геологических структур, но и принимают принципиально иной смысл. Здесь вместо слова «кора» лучше употреблять «кристаллическая оболочка», а вместо слова «мантия» — «аморфная», «жидкая», «перегретая» внутренняя оболочка в зависимости от вкладываемого смысла.

Существуют попытки применить метод актуализма к расшифровке архейских структур (комплексов, движений). Однако в таких случаях мы имеем дело со слишком сложной и малообоснованной логической цепью, расплывчатой последовательностью понятий и сведением вероятности истинности решения к ничтожным величинам. Например, принимая во внимание, что сейчас имеет место движение литосферных плит в соответствии с наиболее популярной концепцией, мы пытаемся распространить аналогичные процессы на давность 3—4 млрд. лет. Однако сама тектоника плит в ортодоксальном виде является еще гипотезой — одним из многих вариантов решения вопроса о кинематике или неподвижности этих плит. И вот от столь условного отправного пункта нам надлежит пройти по направлению к цели сложную цепь гипотез и предположений, даже догадок. Естественно, что такой «актуализм» использовать непосредственно нельзя. Он требует создания специальной и не очень простой математической теории, да и навряд ли это будет возможным.

Развивается дискуссия в отношении происхождения тектонических форм в архее. Б. Ф. Уиндли [«Ранняя история...», 1980, с. 119] пишет, что «скорее необходимо допустить примитивные формы микроконтинентальных столкновений и образование островных дуг для понимания эволюции в архее, чем привлекать из ряда вон выходящие формы тектоники, например прогибающиеся бассейны, подкоровое нарастание базальтов, подкоровую аккрецию и орогенное скучивание. Обращение к сопоставлению с современными тектоническими обстановками имеет то преимущество, что гипотеза может быть проверена сравнительным изучением эквивалентных современных и древних комплексов пород». Здесь опять же актуализм от тектоники плит, который уже хочется назвать «квазиактуализмом», а, пожалуй, лучше «ультраактуализмом».

Того же рода идея заключена в статье К. Бериса и др. «Господство горизонтальных и микроконтинентальных столкновений в течение позднего пермобильного (3,5—2,5 млрд. лет) периода» [«Ранняя история...», 1980].

Интересно приложение актуализма к архейской истории через концепцию тектоники плит. С. Мурбат [«Ранняя история...», 1980, с. 363] на основе изотопных данных пишет: «Изотопные данные сами по себе не могут доказать правильность модели тектоники плит, но они и не противоречат ей. По такой модели изотопные данные указывали бы на то, что вся серия событий, включающая: формирование плит — отделение плит (спрединг океанического дна) — конвергенция плит — субдукция — частичное плавление основной океанической литосферы и (или) верхней мантии — отделение и внедрение базальтов и известково-щелочных вулканических и плутонических типов пород — аккреция новой континентальной коры — существенно геохимическая дифференциация вновь образованной континентальной коры, может рассматриваться как одно непрерывное или почти непрерывное «суперсобытие» продолжительностью 50—150 млн. лет».

Метод актуализма использован также А. Ф. Грачевым и В. Ф. Федоровским в изучении зеленокаменных поясов докембрия. В сравнении со структурами новейшего этапа развития Земли эти пояса не должны соответствовать ни островным дугам, ни позднеорогенным краевым поясам областей сжатия или же зонам растяжения в современных краевых морях. Вероятнее всего, у них рифтовая природа, что следует из сравнения с рифтовыми грабенами. Вместе с тем отмечаются отличия зеленокаменных поясов раннего докембрия (время становления киватинского этажа) и позднего докембрия (дейтерогей). Так, в раннедокембрийских поясах отсутствуют породы щелочного ряда, типичные для фанерозойских материковых рифтов. Это связывается с маломощной «корой» первичных материков. В позднедокембрийских поясах появляются в верхней части разреза конгломераты, гравелиты и песчаники с гранитным материалом, что рассматривается как свидетельство существования гранитной коры. В общем есть основания считать, что зеленокаменные пояса заложились на уже существовавшем гранитно-гнейсовом субстрате. Для поясов характерны низкая степень метаморфизма и длительность развития; приводятся примеры внедрения гнейсов основания в породы поясов, в отдельных случаях высказываются предположения, что тяжелые основные излившиеся породы погружались в более легкий субстрат, образуя таким образом зеленокаменные пояса; их образование связывается иногда с внедрением основных пород вдоль крупных разломов или же с реликтами древнего океана, окаймленными микроконтинентами. Весь этот далеко еще не полный перечень заключений говорит скорее всего только о региональном и историко-геологическом многообразии процессов формирования зеленокаменных поясов и роли разделяющих их

плит (микроконтинентов). Однако надо иметь в виду малую надежность более частных и конкретных квазиактуалистических выводов.

## СТРУКТУРНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ДОКЕМБРИЯ

О структурных элементах докембрия редко можно говорить однозначно. Существует множество разных схем и построений. Остановимся на одной (наиболее близкой автору, принимавшему участие в этой работе) попытке определить тонкую структуру докембрия путем разделения ее на структурно-вещественные комплексы, выделяемые с учетом вещественного состава, структуры и возраста. В связи — с проведенной в этом направлении работой в 1972 г. вышла в свет «Карта тектоники докембрия континентов» масштаба 1 : 15 000 000 под редакцией автора, зам. главного редактора Ч. Б. Борукаева и Л. М. Парфенова с участием О. А. Вотаха и Б. М. Чикова (Африка), А. К. Башарина (Северная Америка), Н. А. Берзина (Южная Америка), А. Л. Матвеевской (Западная Европа) и Г. М. Волонтея (Антарктида). Карта сопровождалась объяснительной запиской. Ряд методических статей, связанных с принципами ее составления, был опубликован в журнале «Геология и геофизика» (1970 г., № 8), и, наконец, после серии отдельных монографий, посвященных докембрию континентов в 1977 г. вышел в свет сводный том — «Докембрий континентов» (авторы: Ч. Б. Борукаев, А. К. Башарин и Н. А. Берзин). В 1984 г. автор выступил с обобщением по проблеме («Геотектоника», 1984, № 6), а в 1985 г. увидела свет новая книга Ч. Б. Борукаева — «Структура докембрия и тектоника плит». Работа была сложной и многолетней. Ее начало следует относить ко времени формирования Сибирского отделения АН СССР, т. е. к 1958 г.

Докембрий Сибири развит широко и представлен разнообразно. Сюда входят Алдано-Становой блок, докембрийские складки (байкалиды), Анабарский выступ фундамента Сибирской платформы, Енисейский кряж и Туруханское поднятие, окаймляющие с запада Сибирскую платформу и относящиеся также к байкалидам, многочисленные выступы докембрия на Алтае, в Саянах, Забайкалье, Колымский и Омолонский массивы, Таймыр и многие другие. В 1962 г. была составлена «Карта докембрийской тектоники Сибири и Дальнего Востока» с объяснительной запиской; опубликованы многочисленные поясняющие статьи в журналах «Геология и геофизика» (1962—1970 гг.), «Известия Академии наук» (сер. геол.), доклады на международных геологических конгрессах и др. На карте были выделены важнейшие структурные элементы докембрия Сибири, такие как Северо-Азиатский кратон с развившимися на нем в Верхояно-Чукотской области эпикратонными геосинклиналями, перикратонные прогибы и три геосинклинальные области трех типов: мозаичная — Алтае-Саянская, треугольная — Байкало-Витимская и линейная — Монголо-Охотская. Сибирская платформа, представленная без фанерозой-

ских покровов, показалась во всей своей «докембрийской наготе»; на ней обозначались разделенные узкими авлакогенами крупные блоки, в которых усматривалось будущее развитие таких структур, как Вилюйская впадина и Уджинский прогиб. Отсюда устанавливалась унаследованность дальнейшего развития — связь между древними и молодыми структурами. В чем же заключались недостатки этой карты?

Во-первых, в докембрии были выделены по радиометрическому возрасту структурные ярусы, однако ни вещество, ни структура при этом не учитывались. В пределах геосинклинальных областей для отдельных участков был указан вещественный состав (формаций), а также для некоторых условных границ второго класса, разломов и т. д. Но все это были лишь средства описания, а не критерии для районирования.

При составлении карты докембрия континентов был принят совершенно иной и более реалистичный принцип, а именно представление структуры докембрия через структурно-вещественные комплексы, приблизительно привязанные к радиометрическим определениям возраста. Таким образом, наши структурные элементы имели как бы три измерения: вещество, структуру и возраст. На карте был изображен самый древний структурный этаж гипергенной оболочки — докембрий, конечно, без нижней границы. Структурные элементы — структурно-вещественные комплексы представляли в геометрическом смысле слои или линзы, чем закладывались основы объемного тектонического районирования. Остановимся на описании только слоистой структуры докембрия.

*Структурно-вещественный комплекс* — это крупное геологическое тело, отличающееся от смежных с ним тел значениями вещественных и структурных характеристик. Выделение структурно-вещественного комплекса производится путем группирования относительно мелких геологических тел (пласты, пачки, свиты), обладающих эквивалентными в принятой на карте схеме классификации значениями вещественных и структурных характеристик. Объемы структурно-вещественных комплексов отвечают второму — третьему порядкам размеров принятой нами шкалы, приведенной в первом и втором изданиях «Тектоника» (1969, 1983 гг.) и «Основы тектоники» (1974 г.).

Под *структурными характеристиками* понимается дислоцированность, под *вещественными* — состав. По степени дислоцированности слоев выделяются *складчатые* и *нескладчатые комплексы* (фундаменты и чехлы). По вещественным признакам комплексы подразделяются на *платформенные* и *геосинклинальные*. Структурно-вещественный комплекс представляет собой *ряд формаций* (с наличием «руководящей» формации — индикатора, что в достаточной степени отражает тектоническую природу слагаемого им геологического тела). Геологические тела (комплексы формаций), соответствующие платформенным и геосинклинальным областям, отражают все обозримое геологическое развитие докембрийского

этажа гипергенной оболочки. Поэтому принятая классификация комплексов представляет максимум возможностей для ретроспективных реконструкций.

Для платформенных комплексов типичными являются формации кварцевых песчаников, глин, плитняковых известняков; доломитов и пр. Песчаный и алевритовый материал хорошо отсортирован, часто встречаются глауконитовые породы, редко — конгломераты, которые почти всегда являются базальными. Из магматических пород широко развита лишь траповая формация, иногда присутствуют 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, широкое распространение континентальных толщ.

Все неплатформенные комплексы рассматриваются как геосинклинальные. Для геосинклинальных комплексов характерны аспидные, молассовые, яшмовая, джеспилитовая, граувакковая осадочные формации, формации рифовых и пелитоморфных известняков и др.; характерна широкая гамма магматических пород спилито-кератофировой формации, офиолитов и т. д. В качестве дополнительных признаков рассматриваются большие мощности при значительных градиентах их изменения, региональные перерывы, резкая фациальная изменчивость, преобладание морских осадков.

Полная классификация-перечисление включает в себя четыре класса структурно-вещественных комплексов: 1) геосинклинальные складчатые, 2) геосинклинальные нескладчатые, 3) платформенные складчатые и 4) платформенные нескладчатые комплексы.

*Геосинклинальные складчатые комплексы* примерно соответствуют складчатым комплексам А. А. Богданова, складчатым зонам А. Д. Архангельского, орогенам Л. Кобера, складчатым сооружениям Е. В. Милановского, областям завершенной складчатости Ю. М. Шейнманна и т. п. Примеры комплексов: акитканская серия Восточной Сибири, енисейская свита Алтае-Саянской области, серия Белт Североамериканских Кордильер, серия Минас Бразилии, система Дамара Юго-Западной Африки, система Аделаида Австралии, надгруппа Росс Антарктиды.

*Геосинклинальные нескладчатые комплексы* в современной терминологии аналогов не имеют. Примеры: надгруппа Маундбрус Западной Австралии, Карагасско-Оселковый комплекс Восточной Сибири, серия Дубонт провинции Киватин в Канаде, системы Доминион-Риф, Витватерсранд, Вентесдорп и Трансвааль Южной Африки.

*Платформенные складчатые комплексы* примерно отвечают платформенным антиклинориям и синклинориям, внутриплатформенным зонам складок. Примеры: верхний докембрий Южно-Китайской платформы, инфракембрий Ирана, формации Гангу и Лики-Бембе Северного Конго.

*Платформенные нескладчатые комплексы* соответствуют платформенным чехлам, докембрийским плитам и т. п. Примеры: вендский комплекс Восточно-Европейской платформы, рифей Сибирской платформы, формация Рораима Гвианского щита, группа Ропер Северной Австралии, «инфракембрий» синеклизы Таудени Африки.

По составу комплексов классы разделены на подклассы. Среди платформенных комплексов различаются: а) терригенные и б) карбонатно-терригенные; в последних существенную роль играют карбонаты (известняки, доломиты). Платформенных комплексов, нацело сложенных карбонатными породами, в докембрии не отмечено.

Геосинклинальные комплексы подразделяются на две большие группы: комплексы осадочные и осадочно-вулканогенные (примерные аналоги мио- и эвгеосинклиналей). Среди осадочно-вулканогенных комплексов выделяются комплексы с эффузивными породами основного, а также среднего и кислого состава. Осадочные геосинклинальные комплексы разделены на терригенные, терригенно-карбонатные и карбонатные.

При составлении карты метаморфизм при возможности «снимался» и изображались комплексы по первичному составу. Данные о первичном составе нижнедокембрийских образований были получены при изучении слабоизмененных (зеленокаменных) толщ Канадского щита, Австралии, Африки. В этих комплексах разнообразные эффузивы, пирокластические породы, граувакки, конгломераты обладают огромной мощностью (первые десятки километров). Происхождение куполовидных и чашеобразных тектонических форм, широко развитых здесь, недостаточно изучено, но следует думать, что они являются результатом глобальных инъективных дислокаций или, лучше сказать, инъективных процессов. Все нижнедокембрийские толщи условно относятся к классу геосинклинальных складчатых комплексов.

При дальнейшем разделении глубокометаморфизованных толщ по вещественному составу среди них выделяются: 1) гиперстеновые гнейсы и сланцы, 2) амфиболовые плагиогнейсы и сланцы, 3) прочие гнейсы и сланцы и 4) мраморы и гнейсы.

Возрастная индексация структурно-вещественных комплексов должна была отразить взаимное расположение комплексов в латеральных и стратиграфических (вертикальных) рядах, т. е. представить структуру докембрийской части гипергенной оболочки.

По мере накопления радиометрических данных становится все более ясным, что крупные структурные перестройки в разных районах Земли происходили в разное время. Кроме того, хронометрические границы, проводившиеся по этим точкам, часто проходят внутри единых геологических комплексов. Так, граница «архея» и «протерозоя» рассекает почти пополам единый по структурным и вещественным характеристикам нижний комплекс чехла Южно-Африканской плиты, время образования которого определяется в интервале 3,1—1,95 млрд. лет.

По возрастным признакам было выделено 13 классов комплексов на основе очень условных радиометрических измерений и со значительным возрастным перекрытием одного класса другим. Таким образом, структурно-вещественные комплексы приобрели значение стратотипов, расположенных «внахлестку».

Были выделены (снизу вверх) следующие классы структурно-вещественных комплексов (в скобках указан эталон или стратотип): 1) алданий (алданский комплекс Восточной Сибири), 2) киватиний (киватино-тимискамингский комплекс Канадского щита); 3) ваалий (чехол Южно-Африканской плиты), 4) удоканий (удоканская серия Восточной Сибири), 5) наллагайний (Маунд-Брус Западной Австралии), 6) улканий (улкано-уянский комплекс Восточной Сибири), 7) кибарий (группа Кибара района Катанги), 8) карпентарий (Тоуалли и Макартур Северной Австралии), 9) рифей (Восточно-Европейская платформа и Урал), 10) белтий (Белт Скалистых гор), 11) аделаидий (Аделаида Южной Австралии), 12) катангий (Катанга Центральной Африки), 13) венд (вендский комплекс северо-запада Восточно-Европейской платформы). Соотношение эталонов показано на рис. 12.

При объединении комплексов на карте из-за неясности контуров областей распространения или структурно-вещественного единства была предусмотрена приблизительная шкала с выделением позднего (моложе 1,6 млрд. лет), среднего (1,5—2,5 млрд. лет) и раннего (древнее 2,5 млрд. лет) докембрия.

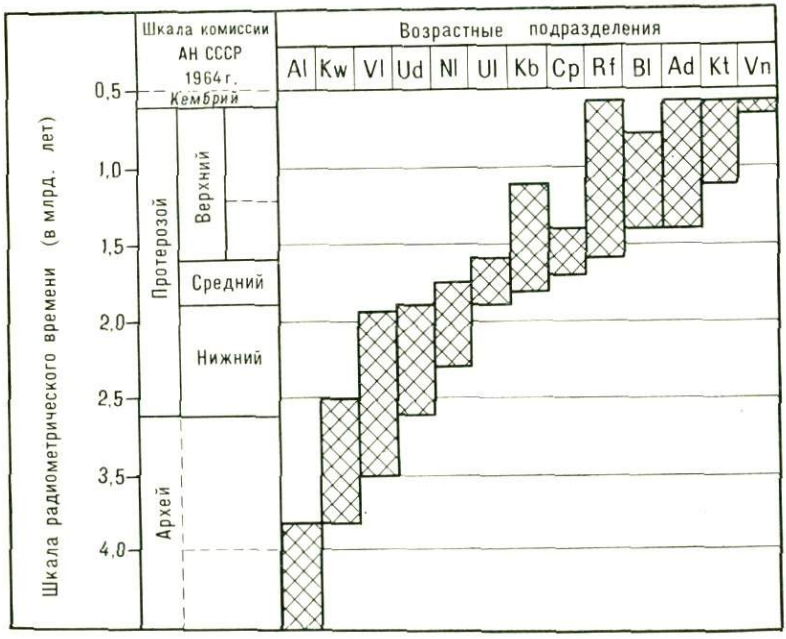



Рис. 12. Соотношение возрастных подразделений эталонной шкалы

Анализ карты позволил сделать некоторые выводы об основных чертах структуры докембрия континентов, закономерностях размещения докембрийских комплексов.

До недавнего времени предполагалось, что древнейшими образованиями Земли являются зеленокаменные толщи возрастом 2,6—3,1 млрд. лет, слагающие «зеленокаменные ядра» континентов. Считалось, что эти толщи образуют древнейшие структурные элементы, *заложившиеся непосредственно на «океаническом»* («базальтовом») фундаменте. В последние годы получены многочисленные радиометрические датировки, значительно превышающие возраст зеленокаменных толщ. Изотопный возраст около 3,5 млрд. лет имеют гнейсы Миннесоты и Центральных Скалистых гор, породы кольской серии Кольского полуострова, алданского комплекса Восточной Сибири, граниты и гнейсы группы Роберн Западной Австралии, гнейсы Индии, гнейсы Гренландии и т. д. Местами зеленокаменные толщи с несогласием залегают на гранулитовых комплексах (Онтарио, Южная Африка) и содержат в себе конгломераты с галькой гнейсов, гранитов и гранофиров, возраст которых определяется в 3—3,5 млрд. лет. Все это свидетельствует о залегании зеленокаменных комплексов на сиалическом фундаменте.

Древнейшие породы, отнесенные к алданию, представлены, как правило, гнейсами, часто двупироксеновыми или гиперстенсодержащими гранулитами. Характерны ассоциации этих гнейсов с амфиболитами, высокоглиноземистыми породами, гранат-гиперстен-магнетитовыми кварцитами, мраморами и кальцифирами. Толщи такого состава залегают в основании разрезов докембрия и по своему составу, характеру метаморфизма и дислокаций резко отличны от всех более молодых комплексов. *Общей их чертой* является глубокий и ареальный прогрессивный метаморфизм гранулитовой и (реже) амфиболитовой фаций. Дислокации отличаются большой сложностью и многофазностью. Характерно широкое развитие линейных изоклинальных складок, многократное взаимоналожение которых приводит к «петельчатой» структуре толщ.

В отличие от алдания образования киватиния уже дифференцированы.

Принимая во внимание структурную, вещественную и возрастную «оси» трехмерной классификации, заложенной в основу составления карты докембрия континентов, всего выделено 312 классов (учитывая, что среди вещественных подразделений было два платформенных, шесть геосинклинальных и четыре класса ассоциаций глубокометаморфизованных комплексов — всего 12; структурных подразделений было два, возрастных 13, общее количество классов равнялось их произведению). Некоторые классы оказывались пустыми, но некоторые включали по несколько комплексов. Во всяком случае, отображенные на карте структурные элементы (*число их измерялось сотнями*) были слишком многочисленны, чтобы наметить более общие закономерности строения и развития докембрия. Необходимая генерализация структурных

элементов была осуществлена, и структурно-вещественные комплексы были объединены в четыре этажа (мегакомплексы): алданский, киватинский афебский и рифейский.

*Алданский этаж* соответствует алданию (нижнему архею) и не обладает строго синхронной верхней границей. Согласно обобщениям Н. А. Берзина, складчатая структура этажа сложена и в различной степени переработана в киватинское, афебское и более позднее время. Складчатые дислокации весьма многообразны в геометрическом смысле благодаря неоднократным переработкам в условиях повышенной пластичности. Первичная структура алдания сильно завуалирована и поэтому неясна. Господствовавшие недавно представления об хаотической купольной первичной структуре алдания последнее время опровергаются детальнейшими исследованиями Р. Ф. Черкасова на Алданском щите, который основу древнейшего плана деформаций усматривает в реликтах сжатых линейных складок нескольких направлений и генераций, образующими перекрестную или решетчатую структуру. Настоящие купольные структуры обязаны, по-видимому, последующему проявлению мощного инъективного процесса.

Наличие неоднородностей (структурно-формационных зон) в алдании является спорным. Как считает Н. А. Берзин, районирование на структурно-формационные зоны зависит от принимаемых корреляционных схем (во всяком случае, для Алданского щита). Здесь существуют кислые и основные разновидности метаморфизованных толщ. Ч. Б. Борукаев хронологически отождествляет алданский этаж с протогеем (термин Г. Штилле). Он отмечает, что неоднократно проявлявшийся глубокий метаморфизм нивелирует структурно-вещественные различия разновозрастных образований. В качестве характерной черты этажа он считает полное отсутствие внутри него достоверно установленных несогласий и перерывов при общей мощности 15—40 км и более. В разрезах присутствует ритмичность от крупной (1000 м) до средней (сотни метров) и даже мелкой, связанной с метаморфогенной дифференциацией. Изохронные поверхности намечаются в самой грубой форме при сопоставлении разрезов крупных структурных областей. Здесь, по-видимому, речь идет лишь о «шершавых» псевдогеоизохронах или, в крайнем случае, в рептохронности, связанной со скоростью распространения процессов на поверхности Земли, а вероятно, и в ее недрах (распространение метаморфизма).

*Киватинский этаж* соответствует киватинию или верхнему архею. Для его характеристики воспользуемся данными А. К. Башарина. В строении этажа участвуют неметаморфизованные и слабометаморфизованные (зеленокаменные осадочно-вулканогенные) комплексы, распространенные на больших площадях всех континентов. Значительно распространены также глубокометаморфизованные сильно гранитизированные образования, часто объединяемые с алданским этажом в гранито-гнейсовый комплекс. В осадочно-вулканогенных комплексах распространены спилито-

кератофировая, флишоидная, аспидния, джеспилитовая и другие формации. В спилито-кератофировых формациях много секущих и стратиформных тел ультрабазитов и габброидов, что придает им сходство с офиолитовой ассоциацией. Терригенные формации отличаются слабой отсортированностью; они близки к флишоидному, аспидному и молассовому типам, вертикальные формационные ряды однообразны и все принадлежат к геосинклинальному типу. Роль горизонтальных смещений трудно оценить. Выделяется несколько типов формационных разрезов. Охарактеризуем вкратце один из них — свазилендский (Австралия, Южная Африка). В основании мощная (6—15 км) спилито-кератофировая формация, образованная основными и средними лавами, стратиформными телами серпентинитов, пироксенитами, габброидами и анортозитами. Наблюдаются ритмы, которые начинаются толеитовыми базальтами и через дациты и риолиты заканчиваются железистыми породами. Выше следуют терригенные отложения (до 6 км) алевролитов, филлитов, граувакк, туфов, джеспилитов, в общем близкие к аспидным формациям. Еще выше располагается толща обломочных пород (2—5,5 км) песчаников, конгломератов, валунных брекчий, галечных граувакк, в целом близких к молассе. Наконец, разрез местами (Трансвааль) венчается порфировой формацией (0,2 км), соответствующей поздней вулканической молассе. В гранито-гнейсовом комплексе доминирующее значение занимает формация мигматит-гранито-гнейсов. Все сохранившиеся формации киватинского этажа — геосинклинальные; платформенные же формации в этом этаже не сохранились. Слои интенсивно дислоцированы многократной перекрестной складчатостью.

Почти пангеосинклинальный киватинский этаж тектонически неоднороден и состоит из зеленокаменных осадочно-вулканогенных поясов и разделяющих их выходов гранито-гнейсов. Среди зеленокаменных осадочно-вулканогенных пород наблюдаются выступы алданского этажа. На Алданском и Бразильском щитах киватинские зеленокаменные образования выполняют узкие и многочисленные троги — возможные остатки больших геосинклинальных прогибов киватинского времени.

Киватинские тектонические области подразделяются на два класса с упорядоченным и неупорядоченным структурными рисунками. Первый тип (канадский), где зеленокаменные пояса разделены выходами гранито-гнейсового комплекса. Отдельные синформы удлинены и располагаются кулисно или субпараллельно. Второй тип (родезийский) характерен незакономерным расположением территориально разделенных синформ, выполненных зеленокаменными комплексами, хаотично размещенными среди гранито-гнейсовой массы и не группирующимися в пояса. Структурные взаимоотношения киватинского этажа с толщами основания нарушены гранитокупольной тектоникой и реоморфизмом. Здесь данные радиометрических определений возраста крайне противоречивы, и иногда рвущие гранитоиды оказываются древнее прорываемых зеленокаменных толщ. Это как будто бы говорит о том,

что здесь псевдоизохроны еще более «шершавы», чем грандиозные изгибы рисунков дислокаций, обязанных древнему инъекционному процессу. Кроме того, как пишет А. К. Башарин, накопления радиометрических дат, полученных разными методами из однородных гранито-гнейсовых комплексов, показывает их весьма широкий разброс и несопоставимость. Устанавливается древнее докиватинское основание, породы которого отличаются по степени метаморфизма. Интересен пример о составе киватиния, а частично и алдания на востоке побережья Южной Гренландии [«Ранняя история...», 1980, с. 176]. Здесь раннедокембрийский комплекс состоит на 80 % из кварц-полевошпатовых гнейсов, которые считаются образованными по гранитам возрастом 3,7 и 3,1 млрд. лет. Суперкрустальные породы представлены амфиболитами, образовавшимися по вулканитам, подчиненными полупелитовыми гнейсами, кварцитами и карбонатами (15 %); остальное приходится на расслоение лейкогаббро и анортозиты.

Резюмируя сказанное по алданскому и киватинскому этажам, отметим, что проблематичная суммарная их мощность (при исключении значительных повторений в разрезах) может достигать 65 км, затрагивая, таким образом, уровни низов земной коры и верхнюю мантию, что важно для истолкования глубоких геофизических разделов, а также для суждения об особенностях ранних этапов развития гипергенной оболочки; возрастной интервал этих этажей простирается от 3,8 до $2{,}6 \pm 0{,}2$ млрд. лет. Последние числа, однако, весьма ненадежны, учитывая возможности и очень плохо исследованную роль наложенных процессов. Затем алданский и киватинский этажи знаменуют собой пангеосинклинальную стадию развития Земли, осложненную процессами метоморфизма и ультраметаморфизма (в особенности в алдании) и глобальным инъективным процессом. Вместе с тем уже появляются неметаморфизованные толщи и первые признаки структурного расчленения поверхности континентов.

Хотя изложение вопросов исторической геологии и не является задачей данной книги, однако самые древние отложения и самые ранние этапы развития (вернее, те ограниченные данные, которыми они характеризуются) пришлось затронуть, так как с ними могут быть непосредственно связаны многие вопросы глубинной тектоники и обоснования геодинамических гипотез.

Выше следует *афебский этаж*, объединяющий, по крайней мере, ваалий, удоканий, наллагайний и улканий.

Этаж этот по стилю тектоники (по Ч. Б. Борукаеву) уже приближается к фанерозою; здесь развиты геосинклинальные складчатые, геосинклинальные нескладчатые и платформенные комплексы. Отмечается широкое развитие фаллаховой формации, появляются ледниковые молассы (спарагмиты), карбостромовые (по Б. М. Келлеру) формации, встречаются расслоенные тела типа Бушвельдского лополита, развиты анортозиты и рапакиви. Среди геосинклинальных формационных рядов выделяются хорошо известные сфекофенский и криворожский типы. Платформенные

комплексы афебия немногочисленны и включают фаллаховую, карбостромовую, базитовую и реже флишоидную формации; по вертикали и латерали они постепенно переходят в миогеосинклинальные комплексы. Примером платформенного комплекса является фаллаховая формация Рораима Гвианского щита, залегающая горизонтально на складчатом геосинклинальном фундаменте. В афебском этаже значения радиометрического возраста также беспорядочны по отношению к геологической структуре. Так, порфировые толщи Дала, акитканская серия Прибайкалья характеризуются значениями 1,7—1,75 млрд. лет, а аналогичные улканская и другие серии — 1,9 млрд. лет; различия датировок здесь не связаны с неточностью анализов.

В афебии фигурируют щитовые массивы (гомологичные платформам рифея и фанерозоя, размеры 1,2—12 млн. км$^2$, примеры — Гвианский, Сибирский, Южно-Индостанский и другие блоки; фундамент образован алданским и киватинским этажами; чехлы распространены локально и часто тяготеют к окраинам, образуя краевые гомоклинали), складчатые области, выступы основания в складчатых областях (первый тип — треугольные, ромбовидные, расположенные на участках расщепления, виргации и пересечения складчатых ветвей; аналоги срединных массивов; размеры 20—700 тыс. км$^2$; в фундаментах метаморфизованные, гранитизированные и дислоцированные толщи алданского и киватинского этажей, в чехлах — германотипная тектоника; второй тип представлен Беломорским выступом, разделяющим Кольский и Карельский блоки и сложенным алданием с широким развитием гранито-гнейсовых куполов). В афебии развиты зоны диасхизиса (наложенная складчатость, метаморфизм, «радиометрическое» омоложение), подобные зоне Становика в мезозое. В характеристику структурного рисунка афебии входит группировка структурных направлений — меридиональных, широтных и диагональных (сравнить с ортогональными и диагональными системами платформенной трещиноватости Н. С. Шатского). Прямолинейность складчатых цепей связывается с разломами глубокого заложения.

С границей киватинского и афебского этажей связана оценка роли лаврентьевской регенерации. Оказывается, что регенерация может быть отнесена только к участкам, консолидированным и завершившим свое развитие в киватинии; наряду с ними существовали ортогеосинклинали, развитие которых происходило с киватиния.

Структуры афебского этажа представлены щитовыми массивами (выступами доафебского фундамента), миогеосинклинальными и ортогеосинклинальными, иногда захватывающими киватиний складчатыми областями.

М. В. Муратов отмечает, что афебский этаж в развитии древних платформ соответствует переходному этапу, когда заканчивается становление фундамента и образуются комплексы древнейшего осадочно-вулканического чехла, после чего на древних

платформах образуется «настоящий» чехол. Слои древнейшего чехла бывают сильно деформированы, образуют складчатые структуры, системы приразломных складок. М. В. Муратов делит чехол на два комплекса: 1) нижний (разнообразные осадочные и вулканические толщи, местная сложная дислоцированность, мощность до нескольких тысяч метров, заполнение приразломных депрессий и грабенов, интрузивные тела; удоканский, трансваальский, гуронский, ятулийский комплексы) и 2) верхний (спокойное залегание, литологическое однообразие; песчаники, кварциты, глинистые породы и т. д.).

Время формирования киватинского и афебского этажей Ч. Б. Борукаев объединяет в дейтерогей, указывая как на основную особенность этого мегахрона на неравномерность развития отдельных сегментов Земли и существенную латеральную неоднородность ее поверхности. Далее наступает фанерозой, значительно лучше изученный благодаря успехам биостратиграфии и геологического картирования.

Многие общие вопросы тектоники докембрия затронуты в работе «Ранняя история Земли» (1980 г.). Так, интересные выводы сделаны о существовании основных типов отложений архейских (*по-видимому, преимущественно киватинских*) пород. Во-первых, это зеленокаменные пояса и связанные с ними тоналиты или граниты, неоднократно формировавшиеся на протяжении половины длительности архея. Комплекс тоналитов и пучки зеленокаменных поясов в течение архея становились меньше. Причины неоднократного развития зеленокаменных поясов в короткие периоды (50—1000 млн. лет) за 1200 млн. лет архейского времени связываются с кругооборотом вещества между «мантией» и «корой». Зеленокаменные пояса формировались в позднем архее значительно позднее развития древнейшей сиалической коры, формировавшейся 3,8—2,6 млрд. лет назад. Во-вторых, более стабильные комплексы архея — это ортокварциты и известняки с основными и ультраосновными породами, представляющие, как полагают шельфовые моря того времени.

Система *алданского, киватинского, афебского и рифейского* этажей является пока наиболее полной моделью строения докембрия («Новосибирская модель»), а «Карта тектоники докембрия континентов» 1972 г. наиболее полной графической его моделью. Приведенные соображения Б. Ф. Уиндли, К. Бернса, С. Мурбата, А. Ф. Грачева, В. Ф. Федоровского и других представляют собой пути поисков более совершенных представлений об эволюции основных структурно-вещественных форм докембрия. Наиболее четко намечены поиски новых путей Ч. Б. Борукаевым в 1985 г. Опираясь на представления о структурно-вещественных комплексах, он связывает с ними различные типы структурных областей докембрия, оставляя в качестве системы отсчета геохронологическую сетку радиометрических возрастов. Систему терминов «алданский», «киватинский» и «афебский» этажи (мегакомплексы) как сковывающую исследователя на путях к построению более

совершенных моделей он теперь не применяет, обращаясь «к типам структурных областей», т. е. понятиям, более определенным в структурно-вещественном смысле, но еще более свободным от геохронологических рамок. Такой подход вполне оправдан, так как в докембрии, особенно в архее, нет «быстрых» палеонтологических сигналов времени, и проблемы относительного возраста *должны решаться по взаимоотношениям* тел. Радиогеохронологическая шкала здесь является не рамкой, а лишь ориентиром для исследователя.

На рис. 13 показан временной и пространственный разброс основных выделенных Ч. Б. Борукаевым типов геоструктурных областей докембрия, а также даны представления об их взаимодействиях (причинно-следственных связях). Основные типы сосредоточены *в континентальном сегменте; переходный же и океанический* сегменты слабо выражены. Океанскому сегменту не принадлежит полностью ни один тип и, таким образом, отсутствует его уверенная характеристика. Отсюда становится неясной самостоятельность переходного сектора.

Ч. Б. Борукаев выделяет такие типа геоструктурных областей

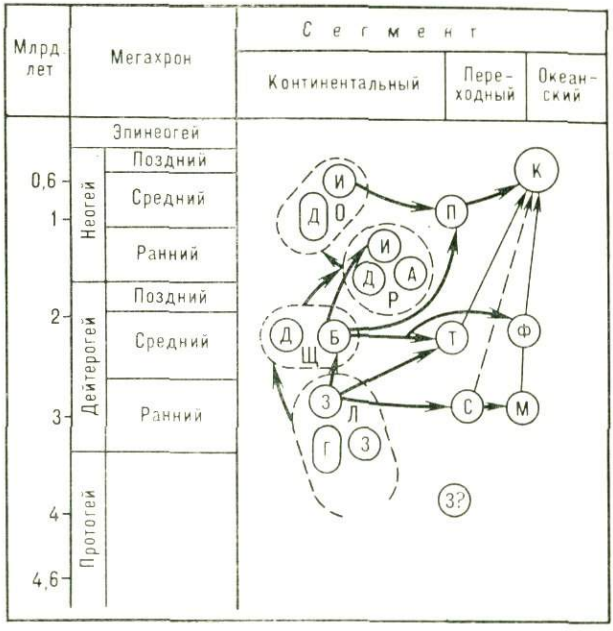



Рис. 13. Схема эволюции структурных областей в докембрии. По Ч. Б. Борукаеву (1985 г.)

*Крупные сиалические массы* (оконтурены пунктирными линиями): Л — литоплинты, Щ — щитовые массивы, Р — кратоны, О — платформы, Г — массивы серых гнейсов, Д — зоны диасхизиса, А — вулканические пояса акитканского типа, Б — бассейны, И — интеркратонные складчатые зоны, З — зеленокаменные пояса; *области переходного и океанского сегмента;* С — области сгущения зеленокаменных поясов, Т — граничные троговые пояса, П — перикратонные зоны, М — то же, тимптонского типа, Ф — то же, свекофенского типа, К — интеркратонные складчатые пояса. Жирными стрелками показаны отношения в латеральном, тонкими — в вертикальном ряду

(структурных элементов) нижнего архея: *зеленокаменные области*, в которых различаются комплексы *серых гнейсов* или *«древние гнейсовые комплексы»*, и *зеленокаменные пояса*. К «серым гнейсам» относятся тоналитовые гнейсы, в частности гнейсы Амитсок с возрастом 3,6—3,8 млрд. лет, превышающим датировку зеленокаменных комплексов. По данным В. И. Кицула, аналоги «серых гнейсов» (гранито-гнейсовая, эндербит-карнокитовая и сланцево-плагиогнейсовая формации) установлены на Алданском щите, где они выделены в виде проблематичного и пока неподтвержденного нестратифицированного *«комплекса основания»* или *«инфраструктурного комплекса»*.

Зеленокаменные пояса распространены на всех континентах; по длине они достигают 700—1000 км, по ширине 100—200 км. Типовым является Барбертонский пояс на Трансваальском щите, образованный в низах метаперидотитами и метабазальтами. Распространены коматииты (диагностический признак). Метаморфизм относительно слабый — зеленосланцевый. На Алданском щите к зеленокаменным поясам относят приразломные прогибы Олекминского и Батомгского блоков. Дебатируется вопрос о роли горизонтального сжатия в структуре поясов; вероятно, правы А. Ф. Грачев и В. С. Федоровский, указывающие на отсутствие признаков горизонтального сжатия, но прав и Ч. Б. Борукаев, считающий, что определяющую роль при формировании поясов играет тангенциальное сжатие; иными словами, зеленокаменные пояса могли развиваться в различных геодинамических условиях. Существует опыт классификации зеленокаменных поясов по возрасту и составу вулканитов. Вопрос о возрастных и структурных взаимоотношениях зеленокаменных поясов и «серых гнейсов» в ряде регионов не имеет однозначного решения. Спектр этих структур очень велик, и соотношения их могут быть разные. Следует считаться с фактами присутствия в основании и конгломератовых прослоях зеленокаменных поясов пород плагиогранитного состава.

Чтобы подчеркнуть сложность проблемы соотношения «серых гнейсов» и зеленокаменных поясов, приведу цитату из книги Ч. Б. Борукаева: «Давно замечено, что в период развития зеленокаменного комплекса формируется целый ряд (3—5) поколений гранитоидов, причем все они имеют близкий гранодиорит-тоналитовый состав. Именно эти тоналит-трондьемитовые интрузии, связанные с разными стадиями развития поясов, образуют вместе со сходными по составу, но более древними серыми гнейсами «море гранита» [Борукаев, 1985, с. 31]. Вероятно, в этом «море» не так уж легко разобраться.

В рамках протогея (до 3300 млн. лет), что соответствует алданию «Новосибирской модели», Ч. Б. Борукаев [1985] помещает только структурные элементы одного типа — массивы «серых гнейсов», а под знаком вопроса еще зеленокаменные пояса.

Выше по разрезу и позднее в истории раннего докембрия в раннем дейтерогее (3300—2600 млн. лет), что отвечает кивати-

нию «Новосибирской модели», наряду с литоплинтами, объединяющими массивы «серых гнейсов» и зеленокаменные пояса (*литоплинты*, по Ю. К. Дзевановскому,— это материковые жесткие выступы из сиаля, существовавшие в архее и сыгравшие в момент складчатости роль платформ, но позднее полностью переработанные складчатостью; таким образом, литоплинты представляют предполагаемые, но уже несуществующие аналоги платформ; возможно, понятие это отражает не конкретные, а сугубо гипотетические объекты, которые понадобились, чтобы осмысливать тектонику архея с привычных фанерозойских или хотя бы рифейских позиций) Ч. Б. Борукаев выделяет новые типы структурных элементов, а именно *области сгущения зеленокаменных поясов* и *складчатые области тимптонского типа* (см. рис. 13). «В отличие от беспорядочного расположения зеленокаменных поясов в пределах литоплинтов «области сгущения» представляют собой линейные системы поясов — прообраз будущих геосинклинальных систем. Складчатые области тимптонского типа — это соразмерные с зеленокаменными областями гранулитовые пояса, которые предположительно являются образованиями гетерогенными и структурно оформляются значительно позже, чем серогнейсово-зеленокаменные области» [Борукаев, 1985, с. 35]. Характерно унаследование структурного плана после формирования комплекса. Примером является архей Тимптоно-Учурского блока Алданского щита.

В среднем и позднем дейтерогее (или что то же — нижнем и среднем протерозое, т. е. 2600—1600 млн. лет), что примерно отвечает афебию «Новосибирской модели», Ч. Б. Борукаев выделяет ряд новых типов структурных областей. Прежде всего литоплинты сменяются *щитовыми массивами*. Термин этот ввели и обосновали соответствующее ему понятие в 1973 г. А. К. Башарин, Ч. Б. Борукаев, А. Л. Матвеевская и Б. М. Чиков. Он обозначает «наиболее крупные стабильные элементы нижнепротерозойской структуры, в некоторой степени гомологичные платформам рифея и древним платформам современного структурного плана. Они обнаруживаются в составе фундамента всех древних платформ» [Борукаев, 1985, с. 107]. Щитовые массивы (протоплатформы, эоплатформы, кратоны) имеют архейский складчатый метаморфизованный фундамент и часто ограничены прямолинейными отрезками, секущими архейскую структуру и трактуемыми как глубинные разломы. К щитовым массивам приурочены зоны преобразования фундамента или *зоны диасхизиса* (взламывания, активизации, пояса мобильные, орогенные, гранулитовые, чарнокитовые, тектонотермальной переработки, термотектогены и т. д.), с длительной переработкой, наложенным метаморфизмом и относительно молодыми интрузивами. Зоны эти удлинены с соотношением диаметров 10 : 1 до 3 : 1 и длиной до 6000 км и более (Мозамбикский пояс); характерны складки и разрывы вплоть до шарьяжей. В пределах щитовых массивов выделяются также *бассейны*, принадлежащие нижнепротерозойскому протоплатформенному чехлу. По Ч. Б. Бо-

рукаеву, этот термин является собирательным и обозначает структуры нескольких типов. Выделяются бассейны *трансваальского, ятулийского* и других типов. В фундаменте бассейнов лежит архей. Бассейн Трансвааль, например, занимает площадь более 500 000 км², почти изометричен и выполнен непрерывной слабоскладчатой толщей нижнего протерозоя (супергруппы Витерватерсранд, прорываемой Бушвельдским лополитом, Вентерсдорп и Трансвааль), сложенного преимущественно обломочными (конгломераты, гравелиты, кварциты, сланцы) и вулканогенными (толеитовые базальты, кварцевые порфиры, туфы и пеплы), а в верхней супергруппе также карбонатными (доломиты и известняки) породами общей мощностью 15—20 км. Бассейны Ятулийский, Криворожско-Воронежский, Пайн Крик (Австралия), Удоканский, Великих Озер и другие обладают разными размерами и своеобразными чертами. Под *граничными троговыми поясами* понимаются «узкие, линейные и ломаной конфигурации прогибы и цепочки прогибов, ограниченные с одной стороны разломом» [Борукаев, 1985, с. 50] и отличающиеся от бассейнов высоким содержанием вулканитов основного состава. Отмечаются энсиалическое заложение граничных троговых поясов, сходство их с эвгеосинклиналями, но без офиолитовой триады. Развитие поясов связано со значительным по масштабу спредингом, быстрым и неравномерным с новообразованием океанской коры и быстрым же сокращением прогиба в результате складчатости. Развитие прогиба укладывается в сравнительно небольшой промежуток времени (2200—1900 млн. лет, т. е. 300 млн. лет длительности). Не говоря о степени доказанности этого процесса (широкое использование квазиактуалистического подхода накладывает отпечаток на некоторые историко-геологические выводы автора), отметим его большую реалистичность и большое сходство с моделью орогена Кобера. Спрединг, сопровождающий быстрое раскрытие и закрытие прогиба и представляющий собой локальное и быстропроходящее явление, *заслуживает пристального внимания геологов*, так как намечает путь к интеграции феноменов тектоники океанов с теорией геосинклиналей, разработанной для континентов. Для облегчения возможностей использования этого понятия в научных дискуссиях предлагается обозначить его термином *спрединг Борукаева*. Для нижнего протерозоя (среднего и верхнего дейтерогея) Ч. Б. Борукаев выделяет наряду с граничными троговыми поясами *складчатые области свекофенского типа*. В частности, Свекофеннская зона представляется Ч. Б. Борукаеву энсиматической «областью широкого распространения островных дуг и разделявшихся ими морей, областью интенсивного новообразования континентальной коры в раннем протерозое» [Борукаев, 1985, с. 5]. К этому же типу относится Становая зона. В конце дейтерогея появляются осложненные вулканическими поясами кратоны, а затем платформы и складчатые зоны, характерные для неогея и рассматривавшиеся в предыдущей главе.

## ОБЪЕМ РАННЕГО ДОКЕМБРИЯ

В отличие от других крупных стратиграфических подразделений Земли объем раннего докембрия остается неопределенным, так как нижней границы выделить пока не удалось. Если бы она была выделена, то были бы установлены подстилающие слои, например доархей. Под ранним докембрием мы можем понимать какую-либо малую по сравнению с объемом Земли оболочку, но можем также понимать всю массу Земли, занимающую пространства мантии и ядра вплоть до центра планеты. Поэтому неудобно говорить о нижнем докембрии так же, как бессмысленно говорить о нижней части планеты. Термин же «ранний докембрий» приходится принимать для обозначения времени и объема одновременно, хотя это и не соответствует стратиграфическим традициям. Что же сейчас можно сказать о нижней границе?

Наиболее распространено представление, что «земная кора» как образование, состоящее из обычных, т. е. наблюдаемых на поверхности и в приповерхностном слое Земли горных пород, отделена сейсмической поверхностью М от подстилающих более плотных и, по-видимому, более основных пород, принадлежащих к первичной Земле. Сомнение вызывает истолкование поверхности М. Скоростные слои прекрасно коррелируются с литостратиграфическими подразделениями в рыхлых толщах (например, в нефтеносных бассейнах), но в метаморфических толщах они «сползают» с геологических границ; обусловлены же они здесь, по-видимому, не горнопородными свойствами среды, а ее напряженными состояниями. Поверхность М не может рассматриваться как геологический раздел; она имеет лишь скоростную (сейсмологическую) природу. Это надо учитывать при разработке метода ГСЗ, применяемого для ее картирования. Надо выяснять геологические возможности метода на специальных небольших полигонах в областях различного строения.

Не может служить для определения пространства раннего докембрия и представление о литосфере как о сейсмологическом теле, геологическая природа которого не выяснена. Б. Гутенберг литосферой назвал слой выше астеносферы, но при вероятном несплошном распространении астеносферы это определение литосферы теряет свою ясность.

Гипергенная оболочка, т. е. внешняя земная оболочка, в пределах которой сохранились какие-либо следы формирования слагающих ее осадочных и вулканогенных пород, также не имеет определенной нижней границы. Так называемая доактуалистическая эпоха может соответствовать глубинам, где гипергенные образования сильно изменены, а следы их наземного происхождения полностью или почти уничтожены.

Приходится считать, что ранний докембрий в общегеологическом (нестратиграфическом) смысле, возможно, распространен на всю планету вплоть до ее центра. Если же будет открыт доархей, то этот вывод остается в силе, только перейдет от раннего докембрия к доархею.

## ПУТИ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ДОКЕМБРИЙСКИХ ТОЛЩ, ЗАЛЕГАЮЩИХ НА БОЛЬШИХ ГЛУБИНАХ

Выше рассматривались структурные элементы докембрия, выделявшиеся и изучавшиеся на основе геологических наблюдений на поверхности Земли. Естественно, что эта картина далеко не полна, так как ранний докембрий, сохраняющий слоистую структуру и другие горнопородные неоднородности, распространяется на большие глубины. Суждения о геологической структуре раннего докембрия основаны на описании разрезов, геологическом картировании и небольшом объеме сравнительно неглубокого бурения, а в изучении структуры раннего докембрия на больших глубинах приходится полагаться в основном на геофизику. Однако до настоящего времени подлинная структурная значимость придавалась только скоростным разделам и слоям. Сейчас речь должна идти о комплексных геофизических исследованиях и их геологической интерпретации как важнейшем пути изучения структуры раннего докембрия. Такие исследования очень сложны и должны осуществляться по долгосрочной программе в районах с различным геологическим строением и различными геофизическими характеристиками. Думается, что основными компонентами такого комплекса могут быть магнитометрия, гравиметрия, изучение теллурических полей и сейсмометрия. Кроме того, большие перспективы связываются с искусственными электрическими полями, создаваемыми МГД-генераторами.

Структурный вклад магнитометрии будет заключаться, по-видимому, в определении положения и кромок магнитоактивных масс, которые могут фиксироваться как в пространстве земной коры, так и в пространстве мантии, что впервые было показано А. А. Борисовым. Гравиметрические поля, обобщенные в гармониках разного порядка, дают основание для расчетов положения центров гравитирующих масс и их форм. Такие центры, судя по исследованиям в разных районах, могут располагаться как выше, так и значительно ниже поверхности М. Изучение теллурических полей позволяет подойти к оценке отдельных участков по их электрическим неоднородностям и таким путем к выяснению положения геологических тел на глубине. Когда мы говорим о геофизическом комплексе, то мы не сбрасываем со счета геологические и геохимические наблюдения, а наоборот, считаем, что они должны быть полностью включены в процесс комплексной интерпретации геофизических данных. Очень мощной компонентой в комплексе является сейсмометрия. Установленное несоответствие (или необязательное соответствие) скоростных и геологических границ отнюдь не снижает геологического потенциала сейсмических методов. Сейсмометрия быстро совершенствуется как по точности наблюдений, так и по методике обработки данных. Это особенно хорошо видно в нефтеносных районах, где с сейсморазведкой связаны тончайшая корреляция разрезов, значительно превышающая возможности биостратиграфических и литостратиг-

графических методов, прослеживание латеральных фациальных изменений в тонких прослоях, определение флюидных характеристик, чем обеспечиваются прямые поиски залежей нефти и газа. Исходя из этого, можно рассчитывать, что в сейсмометрии кроются возможности расшифровки структуры метаморфизованных толщ и что эти возможности будут скоро реализованы.

Крупные геофизические неоднородности мантии могут иметь прямое отношение к структуре раннего докембрия. Необходимо привлечь весь комплекс геофизических данных и сопоставить их с геологическими неоднородностями, наблюдаемыми в приповерхностной зоне Земли, а именно с континентами, океанами, геосинклиналями, петрографическими и геохимическими провинциями и т. д.

При выделении скоростных и электрических неоднородностей необходимо провести некоторую переориентировку геофизических представлений. Мы привыкли иметь дело с субгоризонтальными глубинными сейсмическими и геоэлектрическими разделами, и весь аппарат обработки материалов этих методов приспособлен для этой цели. Однако для структурного расчленения раннего докембрия надо не только прослеживать границы между геофизическими слоями, а выделять зоны и области с различными сейсмическими и электрическими свойствами. Эти объекты могут занимать субгоризонтальное, субвертикальное и любое другое положение.

При таком подходе к интерпретации геофизических материалов аномальные геофизические зоны, выделенные в приповерхностных частях земной коры с доказанным ранним докембрием, могут прослеживаться в ее глубинные зоны, а также в пространство мантии.

## О СВЯЗИ ФЛЮИДНЫХ И БИОГЕННЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ С ТЕКТОНИКОЙ РАННЕГО ДОКЕМБРИЯ

Важные проблемы раннего докембрия связаны с флюидными системами. Геологические объекты — это обычно агрегаты минеральных зерен, т. е. горные породы, или агрегаты горных пород, т. е. геологические формации, образующие некоторую жесткую или каркасную систему. Однако они содержат жидкости и газы, образующие флюидную систему, подвижную относительно каркасной системы. Во флюидных системах играют роль не только состав, но и динамика, а также переходы из одного агрегатного состояния в другое. Все это делает флюидную систему нетрадиционным геологическим объектом. Изучение флюидных систем в гидрогеологии и нефтяной геологии создаст основу для использования ресурсов подземных вод и разработки нефтяных и газовых месторождений. В собственно геологии флюидным системам часто уделяется меньше внимания. Однако в изверженных и метаморфических породах повсеместно обнаруживаются реликты флюидных систем, представленные флюидными включениями.

Исследования включений в минералах регионально метаморфизованных комплексов раннедокембрийских щитов и срединных массивов показали существенно углекислотную специализацию флюида с небольшим количеством примесей воды, азота, других газов, и в частности метана, и других углеводородов. Включения в них распределены равномерно на больших площадях. Это обусловлено нуклеарным характером архейского метаморфизма и ареальным характером дегазации Земли.

В позднеархейское и послеархейское время ареальный тип дегазации Земли сменился зональным, локализирующимся вдоль крупных линейных зон, которые, вероятно, явились поясами повышенной проницаемости, глубоко дренирующими мантию. Так, изучение метаморфизованных толщ показало повышение концентрации углеводородных компонентов во флюидных включениях вдоль линейных зон, что говорит о поступлении углеводородов с больших мантийных глубин Земли и большой научной и практической важности изучения флюидных систем и их следов в раннем докембрии. Сказанное не позволяет становиться на ортодоксальную позицию гипотезы абиогенного происхождения нефти, но склоняет к мысли, что многие линейные ряды нефтяных и газовых месторождений, а также газовые и газоконденсатные залежи, известные ниже основных нефтеносных толщ, могут быть связаны с углеводородным дыханием мантии. Эта связь может быть прямой и опосредованной через воздействия глубинных углеводородов на осадочные толщи, богатые нефтеобразующим органическим веществом. С этих позиций изучение флюидных систем раннего докембрия может внести вклад в установление закономерностей размещения нефтяных и газовых месторождений и направлений их поисков.

К раннему докембрию относятся первые установленные проявления жизни — карбонатные строматолитовые постройки. В Южной Африке в осадочных породах с возрастом свыше 3 млрд. лет описаны единичные клетки размером до 12 мкм, парные клетки и клеточные ткани; все это рассматривается как свидетельство биологических процессов. Однако следы архейской жизни весьма незначительны. Согласно исследованиям и обобщениям А. К. Башарина, Н. А. Берзина и Ч. Б. Борукаева, примерно соответствующие архею алданий и киватиний знаменуют собой пангеосинклинальную стадию развития Земли, осложненную процессами метаморфизма и глобальным инъективным процессом с появлением слабометаморфизованных толщ и признаков структурного расчленения. В афебском этаже широко развиваются отчетливые линейные системы — эвгеосинклинали на континентах. Прямолинейность складчатых цепей может быть связана с разломами глубокого заложения на участках, консолидированных на рубеже киватинского и афебского этажей. С этим рубежом связано резкое возрастание биологической активности в смысле появления в протерозое более двух десятков микробиот — комплексов, включающих, буквально тысячи отдельных фоссилий и содержащих богатое

разнообразие таксонов. Такова самая общая тектоническая и биологическая характеристика архейско-протерозойского рубежа. Сопоставим это с данными по флюидным включениям, характеризующими горизонтальное и вертикальное распределение абиогенных углеводородов, рассеянное размещение их в архее и приуроченность к протерозойским линейным системам, в которых содержание углеводородов во флюидных включениях существенно возрастает. Если принять опаринскую гипотезу о происхождении жизни и о ее абиогенном углеводородном субстрате, то получается интересная возможность проверить связь протерозойских микробиот с линейными тектоническими зонами и существование, таким образом, первичных очагов постархейских форм жизни. Если такие очаги будут намечены, то это повлечет за собой возможность исследования закономерностей и темпов горизонтального распространения организмов от очагов. Из-за бедности органических остатков в докембрии эта задача очень сложна и потребует большого внимания и новых целенаправленных исследований. Полученные закономерности могут быть перенесены на фанерозой для выяснения условий и скоростей горизонтального перемещения фауны и флоры. Это очень важно, так как до сих пор в стратиграфии приоритет отдается вертикальным соотношениям, выясняемым описанием и сравнением разрезов, исследования же горизонтальных перемещений фауны и флоры ограничиваются отдельными второстепенными частностями. Я не могу считать достаточно обоснованными представления о механизмах спрединга и субдукции, однако надо признать огромным достоинством тектоники литосферных плит то, что в ней поставлен вопрос о большой роли и значительных результатах горизонтальных движений. Аналогичные разработки в стратиграфии развиты слабо. Изучение латеральных биостратиграфических процессов позволит получить новые данные для суждения о характере горизонтальных перемещений как горнопородных, так и биотических в формировании лика Земли.

## ГИПОТЕЗЫ О РАННЕЙ ИСТОРИИ ЗЕМЛИ

Не исключено, что ранняя история Земли может быть соотнесена с ранним докембрием. Следовательно, представления о ранних этапах развития планеты могут представить интерес в рамках этой главы. Эти представления, естественно, являются сугубо гипотетическими. Однако с этими гипотезами связаны представления о нижней границе гипергенной оболочки, а также представления о самых ранних этапах образования раннедокембрийских толщ или же (что, может быть, одно и то же) начальных этапах формирования нашей планеты.

Д. В. Смит [«Ранняя история...», 1980] за начальный процесс образования планет принимает аккрецию. Планета поначалу могла быть капельно-жидким сгустком газового облака (Кант—Лаплас) или огромным неправильной формы обломком, масса

которого оказалась достаточной для эффективности гравитационных сил, придавших этому обломку форму, близкую к фигуре гидростатического равновесия. В пользу последнего варианта говорит сравнение с астероидами.

Далее следует другое, мало обоснованное заключение о быстром расплавлении Земли за счет образования ядра и радиоактивности, а затем образования на этом фоне тонкой нестабильной коры. Здесь и скорость аккреции, и скорость разогрева лишены фактической или логической основы, они тонут в «пристрастиях» и «психологии». Это даже не предмет для серьезного обсуждения. А нестабильная кора понадобилась только для того, чтобы привязать к ней определение возрастов древнейших пород Земли (3,7 млрд. лет).

Следующее умозрительное (так его характеризует и сам автор) заключение касается одновременной бомбардировки планет единой генерацией крупных падающих тел. Этой бомбардировкой как бы начинается новая история Земли с образованием разломов и дрейфа материков. Однако и для этого заключения нет доказательств, кроме основанных на субъективных трактовках генезиса лунных кратеров при совершенной недостаточности точек с определением возраста лунных пород.

Достаточно сравнить гипотезу В. П. Мясникова (1980 г.) с гипотезой Д. В. Смита, чтобы убедиться, что первая имеет ряд существенных оснований и дает много для дальнейшего теоретического развития, обоснованной постановки новых вопросов, а также возможностей проверки, а вторая стоит на почве более чем зыбкой.

В. Рама Марти [«Ранняя история...», 1980] принимает модель формирования ядра в результате гравитационной дифференциации первичной Земли. В ядро вместе с железом должны были быть увлечены некоторые сидерофильные и литофильные элементы (Ni, Co, Cu, Au, Re), которых, однако, в современной гипергенной оболочке оказывается больше, чем должно было бы остаться в результате этого процесса. Отсюда вывод о последующей вторичной аккреции, обогатившей поверхность Земли этими элементами. Однако с равным основанием можно было бы заключить о неточности принятой модели.

Например, Д. М. Шоу [«Ранняя история...», 1980] полагает, что имеющиеся в Гренландии осадочные породы в радиометрическим возрастом 3,7—3,9 млрд. лет могли образовываться, если обособление ядра Земли и последующее охлаждение завершились за 0,6—0,7 млрд. лет при возрасте Земли 4,55 млрд. лет. Однако, если возраст гренландских пород значительно преуменьшен, то и возраст Земли может оказаться преуменьшенным в несколько раз. Расчет длительности процесса оказывается лишенным твердых (даже, пожалуй, «зыбких») оснований. Кроме того, представление о процессе может быть совсем не таким. Так, формирование ядра могло быть очень медленным и сопровождаться медленным выделением тепла. Возможно, не было расплавления и последующего

остывания Земли. Формирующееся ядро могло ее медленно разогревать. Затем, почему ядро должно было бы формироваться с расплавлением и последующим охлаждением Земли до 3,7—3,9 млрд. лет? Ведь для наиболее древних пород, намагниченность которых может быть связана с действием динамо-ядра, возраст определяется не более 2,7 млрд. лет. Следовательно, может быть до этого срока ядро могло еще недостаточно обособиться, чтобы получить возможность играть роль динамо-ядра. Может также быть, что формирование ядра происходит до сих пор, в пользу чего говорят наши современные представления о происходящих *на его поверхности процессах.* Конечно, это высказывается не для того, чтобы выдвинуть какую-либо альтернативную гипотезу, а чтобы показать крайнюю неопределенность проблемы, корни которой спрятаны в недосягаемом для нас пространстве больших глубин Земли и *в недосягаемом времени ее зарождения; для этого* в нашем распоряжении нет ни фактов, ни наблюдений. Единственное на что мы можем опираться,— это на общие законы физики и химии. Существуют попытки признать необходимым первоначально-жидкое состояние Земли для удаления из нее изначальных редких газов и концентрации U, Th, K, Pb в ее поверхностных оболочках. Здесь как будто бы привлекаются общие химические законы, но ведь ничем не доказано, что изначальные редкие газы в Земле существовали; не доказано, что если они были бы удалены, то редкие земли сосредоточились бы только в поверхностных оболочках; не доказано также, что если они там есть, то пришли изнутри, а не извне.

Очень неясными остаются представления об аккреции. Если не принимать во внимание химическую стадию этого процесса, то «аккреционно-гравитационный коллапс» вызывает большие сомнения. *Действительно, только тела планетного масштаба* способны заставлять падать на себя другие тела в силу гравитационного тяготения. Даже в поясе астероидов не происходит гравитационного их объединения.

Вот как рисует Д. М. Шоу *развитие поверхностных оболочек* Земли на ранних стадиях:

*Позднедоархейская эра.* Из древней нестабильной земной коры, плавающей на поверхности остаточного базальтового расплава, аккумулируется путем всплывания плагиоклазо-анортозитовая накипь в несколько километров мощностью. Оливины и пироксены, погружаясь, образуют габбро, переходящее в эклогит. Анортозитовая накипь прорывает жидкую магму, перекрывающую габброидный куммулат. Ниже тонкой коры жидкая магма затвердевает, образуя гранитный слой.

*Протоархейская эра.* «По мере охлаждения первичная твердая накипь подверглась последующему переплавлению, воздействию вулканизма, перекристаллизации и затвердению и образованию ядер коры континентального типа в условиях богатой $H_2O$ и $CO_2$ горячей атмосферы» [«Ранняя история...», 1980, с. 44]. Экструзии *базальтов и нижележащие более легкие кислые породы* имели

тенденцию к переворачиванию стратификации. Под влиянием приливов, отливов и контракционной напряженности образовывались трещины и полигональные континентальные ядра. Образовывались линейные зоны вулканической активности. «Однородная протокора начинала разделяться на возвышенные более мощные сегменты кислого состава, разделенные пониженными менее мощными районами основного состава» [1980, с. 46]. Горячие кислотные дожди приводили к изменениям тропического типа и образованию кремнезема, глинозема, кальцита, магнезита, пирита, солей щелочных металлов с галогенами, серой, азотом и бором. Океаны возникли в полярных областях при падении температуры до 100°. Одновременно с обломочными вулканогенными породами отлагались карбонаты, галоиды и сульфаты.

Так рисуется начало формирования гипергенной оболочки. Сначала это базальты с залеганием, осложняющимся «стратоинверсиями», затем кислотные дожди с поверхностным минералообразованием, а потом уже «холодный» океан с большим набором осадочных пород. Все это происходило на рубежах 4—3,7 млрд. лет. Эта схема, несмотря на всю свою умозрительность, позволяет нам все же как-то представить возможные условия начала формирования гипергенной оболочки. Следует иметь в виду, что события, представляющие начало формирования гипергенной оболочки, могли быть существенно иными при отсутствии фазы расплавленной Земли, с образованием тонкой неустойчивой коры и т. д., а при постепенном разогревании и охлаждении Земли — при твердом ее состоянии.

Существует много схем развития Земли на ранних этапах. Эти схемы касаются очень далекого прошлого и имеют не столько гипотетический (имея в виду научные гипотезы), сколько догадочный (догадка) характер. Приведем одну из них.

С. Д. Ламберт [«Ранняя история...», 1980] предложил, например, такую эволюционную схему Земли, как-то перекликающуюся с библейскими представлениями:

1) 4500—3900 млн. лет — фаза хаоса,
2) 3900/3800—3400 млн. лет — фаза анархии,
3) 3400—2600 млн. лет — тектоника накипи, собственной архей,
4) 2600—600 млн. лет — «скорлупная» или монолитная тектоника,
5) 600 млн. лет — настоящее время — мультиплитная тектоника.

Отметим еще, что признание «стратоинверсии» допускает чередование формирования и гибели гипергенной оболочки на первых этапах ее существования и потерю следов начала ее существования или же сохранение таких следов в виде ксенолитов эфемерной коры, потонувших в жидких недрах Земли. Такие высказывания, как и все другие, касающиеся начала формирования гипергенной оболочки, практически непроверяемы и поэтому относятся пока к предположениям.

Здесь уместно напомнить о судьбе «экстремальных» значений

возраста земных пород, заметно превышающих цифры канонического возраста планеты. Эти определения по разным причинам считались некачественными или же объяснялись надуманными процессами, накладывающимися на ход радиоактивного распада. Приведем некоторые данные таких определений.

Для слюдисто-сульфидного цемента конгломератов Украинского щита А. И. Тугариновым свинцово-урановым методом определен возраст 6 млрд. лет. Такие данные (6 млрд. лет) получены А. И. Тугариновым и К. В. Войткевичем для мусковитизированных аркоз «второго горизонта» в Старооскольском районе Курской магнитной аномалии. Здесь определения $Pb^{206}U^{238}$ и $Pb^{207}U^{235}$ полностью совпали.

Для гиперстеновых кристаллических сланцев Южного Буга на Украинском щите свинцово-урановым методом ($Pb^{206}U^{238}$) получено 5,65 млрд. лет и свинцово-ториевым методом ($Pb^{208}Th^{232}$) — 6 млрд. лет. Для метаморфизованных диопсидовых пород Алданского массива калий-аргоновым методом получены цифры 5,3; 5,4 и 5,8 млрд. лет. Для определения роли субъективных ошибок проведены сравнительные данные, полученные в различных лабораториях (И. Е. Старика, Р. В. Комлева и Э. К. Герлинга); для интервала 1,7—1,8 млрд. лет расхождения составили всего 2 %.

На Кольском полуострове в Мончегорском массиве возраст ксенолитов «седберитов» оценивается калий-аргоновым методом по Э. К. Герлингу до 7,96 млрд. лет и там же для бластомилонитов — в 10,85 млрд. лет. Указывается, что по среднему содержанию в ксенолитах аргона и калия возраст изотопа $K^{40}$, а в связи с этим минимальный возраст земного вещества оценивается в 7 млрд. лет. Далее по предположительно разновозрастному синтезу легких и тяжелых элементов возраст изотопа $K^{40}$ оценивается приблизительно в 10 млрд. лет.

Отметим, что еще в 1962 г. Э. К. Герлинг писал, что возраст некоторых основных пород Карелии и Кольского полуострова, определенный калий-аргоновым методом, датируется до 6,500 млн. лет... Горные породы Мончи по радиогеологическим данным являются более древними образованиями, чем это следовало из геологических представлений. Исходя из этого, можно думать, что полученные нами значения $6500 \cdot 10^6$ млн. лет отражают действительный возраст исследованных образцов. Мы полагаем, что эти цифры относятся к ксенолитам подкорового вещества Земли.

Обратимся к новейшим данным Кольской скважины. Здесь в ряде кернов калий-аргоновым методом были определены возрасты горных пород выше канонического возраста планеты. Так, в мраморах с глубины 5797 м определен возраст 5,29 млрд. лет, в хлоритовых диафторированных сланцах с глубины 5607 м — 5 млрд. лет, а в мраморах с глубины 5660 м — 13 млрд. лет.

Импрегнационные представления, которым пытались объяснить повышенное содержание аргона за счет его привноса извне

(это касается калиево-аргоновых определений) встретили серьезные возражения и остаются на сугубо гипотетическом уровне. Исходя из всего этого, нельзя исключить того, что возраст Земли может исчисляться первыми десятками миллиардов лет. Верхнюю границу раннего докембрия можно определить условной геоизохронной поверхностью, например 2000 млн. лет, или же по горнопородному признаку как верхнюю кромку масс сплошной и глубокой метаморфизации. Определения эти неоднозначны. Чтобы приблизиться к нижнему возрастному пределу раннего докембрия, надо обратиться к возрасту древнейших пород.

Как обычно считается, наиболее древние горные породы на Земле датированы изотопными методами в 3,7—3,8 млрд. лет. Так, возраст метаморфизма железистых кварцитов серии Исуа в Западной Гренландии, в одном из наиболее хорошо изученных в радиологическом отношении районе на Земле, определен в 3760 млн. лет.

Для гранито-гнейсов Амитсок из типового района Готхоб получены значения около 3,8 млрд. лет рубидий-стронциевым методом. Близкие цифры получены на Канадском щите, в Южной Африке и других районах Земли. Неоднократный метаморфизм, в частности, древнейших гнейсов Амитсок говорит о том, что радиометрические часы *неоднократно переставлялись назад*, и первичный возраст пород, обнаруживаемых на поверхности Земли, может значительно превышать 4 млрд. лет. Возраст габбро-анортозитов Луны достигает 4,6 млрд. лет, и эта цифра также относится к поверхностным породам и, вероятно, значительно меньше возраста Луны, которую по отношению к Земле можно, по-видимому, рассматривать как дочернее или как одновременно образовавшееся тело. Таким образом, возрасты поверхностных земных и лунных пород с учетом неоднократного передвижения назад радиометрических часов, вероятно, не входят в пределы *«канонического»* возраста Земли, определяемого в 4,5—5 млрд. лет. Возраст же Земли может рассматриваться как нижний возрастной предел раннего докембрия. Конечно, нельзя считать, что все расположенное ниже верхней границы раннего докембрия имеет раннедокембрийский возраст. Исследования геологического развития Земли, в частности разновозрастных вулканических процессов, и геофизические измерения указывают с большой степенью вероятности, что в недрах Земли происходили и происходят локальные и глобальные процессы, ведущие к изменению минерального и химического состава глубинного вещества. Таким образом, внутри Земли формировались новые вещества и тела позднедокембрийского и фанерозойского возраста, а также формируются тела в современную эпоху. При этом исходным является все же раннедокембрийский или более древний материал.

Столкновение значений радиометрических возрастов неоднократно измененных пород со значениями «канонического» воз-

раста Земли могло бы привести нас к библейской идее сверхбыстрого образования нашей планеты. На чем же основан «канонический» возраст Земли? Во-первых, на возрасте метеоритов. Но он указывает лишь на время метеоритогенного процесса, возможно, связанного с разрушением материнского тела, а может быть, и на время какого-либо другого события, отношение которого к истории развития Земли никак не установлено и которое имеет в основном космическую природу.

Кстати говоря, и для образцов габбро-норитовых пород метеоритов калий-аргоновым методом показаны значения 9,3 млрд. лет.

Если соображения о возрасте горных пород имеют веские основания и не выходят за пределы логического мышления, то возраст Земли может измеряться десятками миллиардов лет, что противоречит представлениям о возрасте Вселенной в 10—20 млрд. лет. Если эти космологические цифры истинны, то возраст Земли не может быть таким, как мы его представляем, а должен быть снова зажат в канонические рамки. Однако, если возраст Земли измеряется десятками миллиардов лет, то возраст Вселенной должен быть значительно больше, чем принимается большинством астрономов. Посмотрим в связи с этим, насколько обоснованы господствующие представления о возрасте Вселенной. На такую ревизию нам дает право основной постулат космологии, согласно которому законы, устанавливаемые на Земле или в околоземном (в достаточно широком смысле, отвечающем возможностям современных космических исследований) пространстве, могут быть экстраполированы на большие области и даже на всю Вселенную, и что без признания этого постулата космология как наука невозможна. Иными словами, методика космологических построений весьма близка к историко-геологическим реконструкциям, основанным на методе актуализма (настоящее — ключ к прошедшему), без которого эта наука также была бы невозможна. И нам ясно, что вся чуть ли не безграничная многозначность решений (гипотез о ранней истории Земли или же о ранних стадиях раннего докембрия) касается в равной мере суждений о Вселенной. Мы мало знаем о Земле пятимиллиардной давности, а также о частях Вселенной, отстоящих от нас на расстояниях, измеряемых миллиардами световых лет. В нашем распоряжении могут быть только гипотезы. Но гипотезы оперяются, у них как бы вырастают крылья для самостоятельного полета; они растут и крепнут, питаясь, как любимой пищей, наиболее вкусными и питательными фактами, с удивительной природной ловкостью, инстинктивно выхватывая их из необозримого множества «несъедобных» для данной гипотезы фактов. Происходит нечто подобное тому, как созданный автором литературный герой начинает жить своей жизнью и увлекает автора по собственному пути, заставляя его забыть о прототипе в угоду идеи об этом герое.

Калий-аргоновый тринадцатимиллиардный возраст мраморов и превышающие «возраст Земли» значения возрастов других пород и минералов Кольской скважины (хлориты, карбонаты, турмалины и тремолиты) по уран-гелиевому методу дают совпадающие или еще большие значения. Эти возрасты объявлены неверными, показывающими «нереальный ложный возраст вследствие локального избытка аргона»; поистине удивительно, как и аргон и гелий в соответствии с импрегнационной гипотезой поступают извне как раз в таких количествах, чтобы дать совпадающие возрасты. В качестве одного из аргументов «ложности» приводится то соображение, что эти возрасты превышали возраст Солнечной системы, определяемый в пять миллиардов лет. Сопоставим это высказывание с высказыванием астрономов О. Струве, П. Линда и Э. Пилланс о том, что возраст Земли и метеоритов порядка 5 млрд. лет. Поэтому считают, что вся Солнечная система существует по крайней мере $5 \cdot 10^9$ лет. Высказывания геологов и астрономов явно представляют собой логически порочный круг. На грани геологии и астрономии завязывается узел, который должен быть разрублен. Для определения возраста Солнечной системы, согласно Ж. Бранда и П. Ходжа, много полезнее земного эталона мог бы оказаться факт, что энергии превращения водорода в гелий было бы достаточно для поддержания излучения Солнца в течение времени порядка $10^{11}$ лет, т. е. 100 млрд. лет. Из всего сказанного следует, что возрастом горных пород в 13 млрд. лет не надо неосновательно пренебрегать, а возможно, даже следует его считать крупнейшим открытием не только в области геологии, но и космологии.

Что же происходит с представлениями о возрасте Вселенной. Известно, что поначалу А. Эйнштейн на основании соответствующих расчетов в рамках теории относительности считал Вселенную стационарной. Затем ленинградские ученые А. Фридман и Ю. Крутков представили свою аргументацию о нестационарности Вселенной. Эту аргументацию А. Эйнштейн спустя несколько лет принял. Так утвердилось совершенно правильное и даже очевидное представление о нестационарности Вселенной. Действительно, существование Вселенной с ее массами и силами немыслимо вне динамики и эволюции. Создается впечатление, что представление о стационарной Вселенной было лишь своего рода теоретическим «тупиком», из которого А. Эйнштейн быстро вышел, а его новые доказательства нестационарности Вселенной были просто победой одетого в математические одежды здравого смысла. Нестационарность Вселенной может быть различной. Расширение или сжатие — это простейшие элементарные процессы, к которым рисковано сводить нестационарность Вселенной и которые должны комбинироваться друг с другом, уступая первенство одно другому не только во времени, но и в пространстве и сочетаясь с вихревыми и более сложными движениями.

В 1848 г. австрийский ученый К. Допплер установил факт изменения частот волн в зависимости от скорости перемещения их

источника относительно наблюдателя. При приближении длина волны уменьшается, при удалении — растет (уменьшение энергии и «покраснение» или смещение спектральных линий к красной части спектра). Вначале эффект Допплера был установлен для звуковых колебаний (понижение тона звука при удалении), а затем распространен на все волны. *Открытие красного смещения* у далеких галактик привело к выводу, что чем дальше от нас отстоит галактика, тем больше красное смещение ее спектра и, следовательно, тем быстрее она удаляется от нас. Таким образом, была высказана мысль о расширении Вселенной. Затем эта мысль была возведена в ранг «кардинального факта», «открытия» (тогда как это всего-навсего система построений и гипотез, в конечном счете основанная на земном или околоземном материале» и т. д.). Открытие Э. Хаббла в том смыле, что красное смещение возрастает с удалением галактик, является, конечно, величайшим научным достижением. Но интерпретация этого факта может быть различной. По-видимому, в плане решения вопроса о нижней возрастной границы раннего докембрия, а также в связи с полученными данными при бурении Кольской скважины должен быть кардинально пересмотрен возраст Земли, а вместе с тем возраст Вселенной и представления о природе красного смещения далеких галактик. Необходимость такого *пересмотра обусловлена новыми фактами* о Земле, а ведь космологические задачи должны решаться на земном материале, иначе будет нарушен важнейший философский постулат космологии и она станет невозможна как наука. Но космология не обречена, и красное смещение далеких галактик должно получить свое новое истолкование. Для этого космология обладает большими резервами. Во-первых, здесь могут влиять свойства «скрытой массы» и нейтринной Вселенной. Во-вторых, в космологии установлена *критическая плотность* вещества (главным образом, нейтринного) во Вселенной $10^{-29}$ г/см$^3$. Считается, что если плотность ниже критической, то Вселенная должна расширяться, а если выше — сжиматься. Оказывается, что плотность, определяемая только по массе электронных нейтрино, равна критической, а если принять во внимание еще не установленные массы мюонных и тау-нейтрино, то плотность окажется больше критической и Вселенная не сможет расширяться. Однако красное смещение гипнотизирует, и высказывается мнение, что высокая плотность вещества во Вселенной должна лишь остановить разлетающиеся галактики и быстро (через несколько миллиардов лет) направить их по обратному пути к центру Вселенной. В нестационарной Вселенной дальние галактики должны испытывать сложные движения и эволюционировать, но не обязательно разбегаться друг от друга. Надо еще иметь в виду, что *реликтовое излучение совершенно не обязательно* рассматривать как остаточное свидетельство начального взрыва сверхплотного ядра Вселенной. Ведь в этом словосочетании лишь «излучение» представляет измеримую фактическую величину, а то, что оно реликтовое, — только

гипотеза. Это излучение надо было считать реликтовым только для подтверждения «факта» расширения Вселенной. Так что доказательства расширения Вселенной могут быть взяты под серьезное сомнение, в основе чего лежат радиологические реконструкции по Кольской скважине.

По мнению Дж. Нарликара, не только возраст пород сверхглубокой Кольской скважины, но и новейшие астрофизические разработки говорят о необходимости коренного пересмотра возраста Вселенной. Сущность высказываний Дж. Нарликара очень важна, и поэтому остановимся на них подробнее. Корень вопроса здесь в силах инерции, результатах известных опытов с маятником Фуко и принципом Маха, который утверждал, что свойство инертности должно быть как-то связано с фоном далеких звезд; иначе говоря, малая типичная частица связана с существованием всех остальных частиц по Вселенной. А если это так, масса необязательно должна быть постоянной — при движении частицы по Вселенной масса может меняться. Известно, что все единицы измерения можно выразить через единицы длины, массы и времени. Однако если принять $c=1$ и $\hbar=1$ ($c$ — скорость света, $\hbar$ — постоянная Планка, деленная на два), то все три единицы можно выразить через любую одну из них, например, через массу. Дж. Нарликар считает, что если основная единица измерения произвольно меняется в пространстве и времени, а при этом формулы, выражающие какой-либо закон физики, не изменяются, то данный закон масштабно инвариантен; массы частиц в общей теории относительности должны строго сохранять свое значение постоянным; чтобы получить масштабно-инвариантную теорию тяготения, нужно выйти за рамки общей теории относительности. С позиций масштабно-инвариантной теории тяготения — геометрия евклидова, а Вселенная не расширяется, однако массы элементарных частиц зависят от времени, а красное смещение есть прямое свидетельство того, что в прошлом массы элементарных частиц были меньше. Рис. 14 вместе с подрисуночной надписью воспроизводится по Дж. Нарликару. Здесь вводится понятие прошлого и настоящего полупространств, разделенных «поверхностью нулевой массы», где по стандартной модели Фридмана имеют место сингулярность и рождение Вселенной. По новой теории частицы пересекают нулевую поверхность без сингулярности и несут информацию из «полупространства прошлого». Получает рациональное объяснение и так называемое «реликтовое излучение». Свет звезд и другие формы электромагнитного излучения при переходе через нулевую линию интенсивно рассеиваются на частицах с нулевыми массами и за счет этого термализуются. Этим объясняется, почему при больших красных смещениях во Вселенной доминировало излучение с тепловым спектром. В стандартной модели горячего «Большого взрыва» не объясняется, почему Вселенная начинала именно с горячего состояния.

Дж. Нарликар предполагает сложное строение Вселенной, что

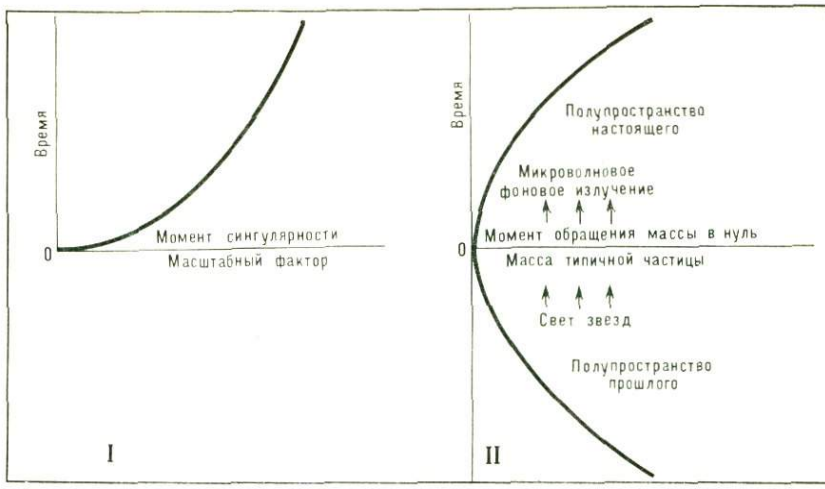



Рис. 14. Два подхода к космологии. В стандартной модели Фридмана (I) масштабный фактор возрастает от начального значения О, т. е. Вселенная расширяется, начав с состояния сингулярности; массы элементарных частиц постоянны. В модели II, которая соответствует статической Вселенной (т. е. масштабный фактор постоянен), изменяются массы элементарных частиц. В отличие от модели I в модели II нет геометрической сингулярности в момент $m=0$, и все физические процессы можно рассматривать до момента $m=0$, т. е. когда массы частиц еще не были равны нулю. Р. Хойл высказал предположение, что свет звезд, пересекая гиперповерхность $m=0$ в направлении, указанном стрелками, термализуется и образует фоновое микроволновое излучение. По Дж. Нарликару (1985 г.)

следует из рис. 15. Автор рассматривает и парадокс красного смещения в спектре квазаров. Из ядра галактики взрывом выбрасывается новорожденный квазар. В момент рождения квазара все массы частиц в нем были равны нулю, но потом они

Рис. 15. Поверхности нулевой массы показаны в общем случае. Они отделяют друг от друга области, дающие положительный и отрицательный вклады в массы частиц (отмечены соответственно знаками + и —). Наблюдатель 0, находящийся недалеко от поверхности нулевой массы, располагает лишь ограниченными возможностями наблюдений. Они охватывают только события, лежащие в его (наблюдателя) световом конусе прошлого (заштрихованная область). Поэтому он может ошибочно подумать, что Вселенная изотропна и однородна. Возможно, что именно так и обстоит дело с нашими собственными представлениями о космологии! По Дж. Нарликару (1985 г.)

начинают расти со временем. Тем не менее массы элементарных частиц в квазаре всегда остаются меньше масс таких же частиц в материнской галактике. Именно эта разница и обусловливает аномальное красное смещение. Дж. Нарликар указывает на возможное тормозящее влияние «скептиков» на утверждение его взглядов. Такой скепсис мы уже находим в предисловии редактора перевода, где сказано, что идеи Нарликара «подавляющее большинство специалистов не разделяет. Факт расширения Вселенной и другие положения космологии доказаны совершенно надежно» [1985, с. 7]. Гипотеза расширяющейся Вселенной входит в противоречие с фактами геологии. Гипотеза Нарликара более отвечает этим фактам, хотя, по-видимому, несколько упрощает бесконечный и очень сложный в пространстве и времени процесс вещественно-энергетических преобразований во Вселенной.

Исследования раннего докембрия позволяют поставить серьезнейший научный вопрос о необходимости согласованного исследования Земли и Вселенной. История Земли длительна и сложна, и в ней могут быть запечатлены следы крупнейших космических событий. Изучение истории Земли, наряду с выяснением физико-математических законов существования и развития галактик, цепочек галактик, а также квазаров, пробивших брешь в концепции расширяющейся Вселенной, должно привести к взаимной корректировке геологических и космологических построений и, несомненно, к дальнейшему прогрессу в развитии этих двух наук. Геологические разрезы, формировавшиеся на протяжении миллиардов лет, могут оказаться ключом к познанию особенностей развития нестационарной Вселенной. В этом особенно важную роль должно играть изучение раннего докембрия.

# ГЛАВА V
# ДИНАМИЧЕСКАЯ ТЕКТОНИКА

В предыдущих главах рассматривались состав и структура гипергенной оболочки. Использование принципа последовательности напластования, а также в известной мере метода актуализма позволяет на основании изучения структуры восстанавливать последовательность событий и реконструировать ход формирования гипергенной оболочки. Роль таких историко-генетических реконструкций в изучении геологического строения и при поисках полезных ископаемых была пояснена в связи с построением прогнозных моделей.

Помимо исследования структуры, а также историко-геологических реконструкций, выясняющих последовательность формирования геологических тел и структур, в тектонике намечается, по крайней мере, еще одно важное направление, заключающееся в исследовании тектонических движений и процессов. Это направление, которое может быть названо *динамической тектоникой*, включает непосредственные наблюдения над геологическими (точнее, тектоническими) движениями и процессами, происходящими на наших глазах или на протяжении жизни культурных поколений человечества. Такие наблюдения позволяют судить о геологических процессах как о физических, для которых могут быть непосредственно измерены скорости движения и изменения вещества.

Непосредственное изучение тектонических движений и процессов важно, во-первых, в практической деятельности человека при проектировании и осуществлении разного рода инженерных сооружений, жилых домов и городов в районах различной сейсмичности, плотин, дорог и т. д.; оно необходимо для сохранения поверхности Земли в состоянии, удобном для обитания (противооползневые и противоселевые сооружения) и, наконец, для предупреждения людей о стихийных бедствиях (служба цунами, предсказание землетрясений и извержений вулканов). Во-вторых, изучение этих явлений важно для применения метода актуализма при реконструкции тектонических движений и процессов прошлого. Заметим, что для применения метода актуализма в указанных целях для нас одинаково важно использование непосредственных наблюдений над ходом как естественных, так и искусственных процессов. Так, для реконструкций направления течения и процессов распределения терригенного материала при седиментации оказываются весьма полезными как наблюдения в современных водоемах, так и эксперименты с гидравлическими лотками. Можно считать, что геологические, в частности тектонические, эксперименты служат не для непосредственного воспроиз-

ведения природных процессов геологического прошлого, а создают наряду с наблюдениями над природными современными тектоническими процессами основу применения сравнительного метода (метода актуализма) к реконструкциям процессов прошлого. Учитывая это, экспериментальную тектонику можно считать родственной прежде всего динамической тектонике.

Динамическая тектоника, помимо изучения непосредственно наблюдаемых тектонических процессов в естественных условиях и экспериментах, включает также разработку представлений о тектонических процессах, длительность которых значительно превышает время существования цивилизаций, а также о завершенных тектонических движениях геологического прошлого.

Реконструкции процессов прошлого, основанные на изучении современных процессов, существенны для уточнения представлений о структуре гипергенной оболочки и размещении в ней полезных ископаемых.

## НАБЛЮДАЕМЫЕ (СОВРЕМЕННЫЕ) ДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Изменения положения земной поверхности могут иметь двоякую природу. Во-первых, они могут быть результатом размывов и осадконакопления, ведущих соответственно к понижениям и повышениям положения земной поверхности. В таком случае эти изменения связываются с разрушением или наращиванием гипергенной оболочки, земная же поверхность в каждый момент своего перемещения будет характеризоваться различными системами вещественных частиц. Во-вторых, изменения положения земной поверхности могут происходить при ее фиксированном вещественном составе, причем в процессе ее перемещения не будет происходить ни разрушения, ни наращивания гипергенной оболочки. Оба случая здесь идеализированы и искусственно обособлены, что необходимо для выделения тектонических движений. В действительности движения обоих типов обычно накладываются друг на друга. Иными словами, тектонические движения могут сопровождаться осадконакоплением и размывом.

Наблюдая и измеряя тектонические движения земной поверхности, надо учитывать, что эти движения обусловлены перемещением масс некоторого слоя, который может быть весьма маломощным, как, например, в случае гипсовой тектоники (движения гидратации), но может распространяться на земную кору или даже более глубокие геосферы. Перемещения масс, включающие движения земной поверхности, мы будем называть *тектоническими движениями*. Все методы непосредственного измерения и реконструкций тектонических движений заключаются в измерениях и реконструкциях движений земной поверхности. Глубинные перемещения масс (глубинные тектонические движения), которые не сопровождаются движениями земной поверхности, мы не можем ни измерять, ни реконструировать, а следовательно, и срав-

нивать с обычными тектоническими движениями или классифицировать наряду с ними. Поэтому причисление гипотетических скрытых движений к той категории тектонических движений, которые мы здесь рассматриваем, препятствовало бы полноте изучения последних.

Заметим, что в отличие от предыдущих глав, где речь шла о гипергенной оболочке, поскольку рассматривался вопрос об ее структуре, здесь, говоря о тектонических движениях, мы снова обращаемся к понятию земной коры. Когда мы говорим о тектонических движениях поверхности, связанных с перемещениями лишь в некотором приповерхностном слое, имеющем фиксированную верхнюю границу, то для нас в принципе безразлично, подразумевается ли под этим словом гипергенная оболочка или земная кора, так как дневная поверхность служит верхней границей как для той, так и для другой. Однако обращение именно к земной коре здесь представляет несомненное преимущество. Действительно, если состояние нижних частей гипергенной оболочки и положение ее нижней границы нам неизвестны, то положение подошвы земной коры считается определенным, а физические (сейсмологические) характеристики нижних ее частей и подстилающей ее мантии известны. Благодаря этому, говоря о тектонических движениях, мы можем себе представить движения земной коры в целом и связать их с глубинными процессами, которые можно по геофизическим и другим данным предполагать в области перехода коры к мантии (например, подвижность этой границы по отношению к слоям или структурам гипергенной оболочки или на других уровнях). Представления же о движениях гипергенной оболочки в целом отличались бы крайней неопределенностью.

Связывая движения земной поверхности с перемещениями масс, мы вправе считать, что эти движения обусловлены главным образом процессами, происходящими на некоторой глубине. Отсюда следует, что кроме намеченных двух аспектов изучения тектонических движений необходимо указать на третий аспект, а именно — их изучение в связи с представлением о глубинных тектонических процессах. Исследование тектонических движений в этом отношении должно быть тесно связано с геофизическими данными. Для суждения о глубинных процессах необходимо совместное истолкование тех и других данных.

Непосредственным измерениям доступны лишь современные движения. Заметим, что, говоря о непосредственных измерениях, мы имеем в виду не личные возможности одного исследователя, а возможности ряда последовательных поколений, т. е. исторический этап. Здесь не следует смущаться тем обстоятельством, что отмеченный 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 свойством 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. Указать же, какова в самом деле их кинематическая характеристика, мы можем только на примере современных движений.

В качестве методов изучения современных движений применяются повторные нивелировки и триангуляции, наклономерные наблюдения, повторные гравиметрические, уровнемерные наблюдения, гидрологические, сейсмометрические, космические методы и изучение исторических (литературных, археологических и др.) данных.

Среди современных тектонических движений Н. И. Николаев различает собственно тектонические движения, называемые эпейрогеническими, волновыми, колебательными и т. д. Эти движения проявляются длительно, они связаны с различными геофизическими и геохимическими процессами, происходящими в глубинных недрах Земли; генезис их неясен. Предполагаемое расчленение этих движений (по происхождению) на планетарные и подкоровые, как считает Н. И. Николаев, связано с большими трудностями. Собственно тектонические, или вековые (будем называть их так), или эпейрогенические движения представляют собой общий фон, на котором происходят движения, имеющие разного рода локальные причины (например, местные поднятия над растущими соляными массивами), а также «упругие» движения, вызывающие лишь обратимые (упругие) деформации земной поверхности. Однако даже такие упругие движения, как приливы в твердой Земле, имеют остаточную компоненту, влияют на структуру Земли и могут рассматриваться как тектонические.

Движения, выраженные, например, в послеледниковых поднятиях, соразмерны во времени с процессами денудации и осадконакопления и могут быть синхронными с ними; если мы представим себе подобного рода движения в геологическом прошлом, то можем рассчитывать, что они могли оставить следы в геологической структуре и, следовательно (при благоприятных обстоятельствах), могут быть в какой-то мере реконструированы. К подобного же рода «квазиупругим» движениям, возможно, относится эндолитогенный компонент, о котором сообщает Н. И. Николаев. Это явление заключается в прогибании поверхности Земли под тяжестью городских и портовых сооружений, установленном в Мехико, Риге, Бремене, Токио, Венеции и других городах и достигающем нескольких сантиметров и десятков сантиметров в год (в Токио 40—56 см за 2—4 года); прогибания связаны со сжатием поверхности грунтов в слое 20—30 м.

Тектонические движения могут быть охарактеризованы траекториями и скоростями. Что касается траекторий, то они представляются сложными, хотя и совершенно недостаточно изучены. Приводимые в литературе многочисленные данные о скоростях

современных движений относятся в основном к их вертикальной компоненте, устанавливаемой нивелировками и уровнемерными наблюдениями. Эти методы не позволяют выяснять горизонтальную компоненту. Однако в тех немногих районах, где проводились повторные триангуляции, устанавливается, что горизонтальная компонента иногда значительно превышает вертикальную.

Укажем на приводимые Н. И. Николаевым данные о горизонтальных смещениях триангуляционных пунктов в Баварии со скоростью до 18 мм/год. Карта смещений триангуляционных пунктов показывает, что смещения эти были не случайны, а отражали «перекашивания» крупных (порядка 100 км и более в поперечнике) участков территории Южной Баварии. Замеренные скорости горизонтальных движений (перемещение по сдвигам) в Калифорнии составляют 5—40 см/год, максимальная скорость 7 м за 16 лет. В зонах современной активности советского Дальнего Востока горизонтальная компонента движений на порядок выше вертикальной.

Траектории вековых движений (траектории точек поверхности Земли) можно представить себе как сумму вертикальной и горизонтальной компонент в векторной форме. В действительности эти траектории, по-видимому, не прямолинейны и могут обладать очень сложной формой. Точные данные о них отсутствуют, однако, по-видимому, некоторые такие траектории сходны с известной моделью Монтессю де Баллора, изображающей путь, пройденный точкой земной поверхности во время землетрясения в Токио 15 января 1887 г., в виде сложного петельчато-узловатого узора. Эта модель наглядно показывает, что даже знание обеих — вертикальной и горизонтальной — компонент движения, что весьма редко бывает, далеко не раскрывает полной кинематики движения и не позволяет поэтому ощутить все многообразие различных процессов, влияющих на движение точек земной поверхности. Так что даже при наличии повторных нивелировок и триангуляций сведения о тектонических движениях, которые мы получаем, остаются крайне схематичными.

Когда речь идет о скоростях современных тектонических движений, то в основном рассматриваются вертикальные компоненты этих скоростей, осредненные для интервала времени измерений.

Повторные нивелировки, проводившиеся в большом количестве мест в Советском Союзе и зарубежных странах, показывают, что любая точка земной поверхности находится в движении, испытывая поднятия или опускания; это дает возможность говорить о повсеместности распространения и непрерывности проявления тектонических движений.

Измеряемые повторным нивелированием скорости современных движений не могут быть полностью отнесены за счет тектонических движений. Как указывали Ю. А. Мещеряков и М. Н. Синягина, на результаты повторного нивелирования наряду с тектоническими движениями земной поверхности оказывают влияние

ошибки измерений обеих нивелировок и местные смещения марок и реперов нивелирования неотектонического происхождения. Очевидно, невозможен точный подсчет влияния ошибок измерения на получаемую от сравнения обеих нивелировок разность отметок. Кроме того, очень трудно учитывать смещение нивелировочных реперов (например, от проседания или вспучивания грунтов в зависимости от инженерно-геологических условий). Поэтому Ю. А. Мещеряков и М. Н. Синягина рекомендовали корректировать данные нивелировок в соответствии с геолого-морфологическими особенностями местности. Они указывали, что если геологические данные для ряда этапов предшествующего геологического развития говорят о преемственности (унаследованности) тектонических движений (кривая повторной нивелировки имеет тот же характер, то можно считать, что данные нивелировки отражают тектонические движения. При таком подходе в измерения современных движений вносились элементы их реконструирования на основе геологических данных. При этом современные движения нельзя было рассматривать как полностью непосредственно измеряемые, и поэтому они частично утрачивали свое самое важное качество, а именно способность быть эталоном для реконструкции тектонических движений геологического прошлого при использовании метода актуализма. Однако при известной неполноценности непосредственных измерений такой подход для соответствующего ему состояния изученности современных движений и точности их измерения надо считать вполне оправданным. С подобной ситуацией мы уже встречались, когда рассматривали вопрос о значении историко-геологических реконструкций для познания современной геологической структуры.

Составленная Ю. А. Мещеряковым и М. Н. Синягиной с учетом возможных ошибок схема современных движений земной коры по данным повторного нивелирования для полосы Москва — Северный Кавказ иллюстрирует повсеместность движений. Современные движения обнаруживают связь с коренной тектонической структурой. Так, районы, расположенные севернее Ростова (платформа), испытывают поднятие, а районы к югу от Ростова (Предкавказье) — опускания. Средние скорости современных движений составляют: на Кубани — от —3 до —5, в Ейске от —1, до —2, Терской впадине от —5 до —7, на Украинском щите от +6 до +10, Воронежском поднятии от +11,5 до +21,2, в Орле +17,2, Туле +16,5, Серпухове +15,1, Москве +3,9 мм/год.

При наличии двух надежных последовательных повторных нивелировок корректировка может осуществляться сличением их результатов, и в этом случае обращение к геолого-геоморфологическим данным становится менее обязательным. Так, Ю. А. Мещеряковым и М. Н. Синягиной, спустя 10 лет после получения вышеприведенных величин, было показано для европейской части СССР, что скорости (и направления) вертикальных движений земной коры остаются постоянными в течение, по крайней мере, нескольких десятилетий. Такой прогресс оказался возможным

благодаря тому, что определение величин движений теперь производилось не на основе однократных повторных нивелировок, а только при помощи сетей повторного нивелирования, что позволило контролировать вычисленные значения скоростей современных движений по невязке полигонов, а также, используя избыточные наблюдения, получать вероятнейшие значения скоростей современных движений в отдельных пунктах.

При больших интервалах измерений получаются устойчивые осредненные величины, а при малых интервалах увеличивается влияние случайных отклонений от общей тенденции.

Изучив данные по измерениям уровней ряда пунктов побережья Ботнического залива, Ф. Виттинг показал, что если совместно обработать наблюдения 15 лет, а затем трех лет, и, наконец, одного года, то определяемые движения оказываются все хаотичнее. Он пришел к выводу, что область в целом поднимается как «полупластичная мозаика» из сочлененных друг с другом блоков различного размера.

По данным Д. М. Лиса, по Месопотамской равнине в районе Ахвиза располагается антиклиналь Шаур, формировавшаяся в течение четвертичного периода. В первом или втором столетии нашей эры антиклиналь была пересечена двумя ирригационными каналами. Ложе канала за 1700 лет поднялось на 18 м в пределах участка протяженностью 4 км. Средняя кажущаяся скорость роста антиклинали, таким образом, составляет 10 мм/год. В этом же районе (вне антиклинали) на глубине 2 м ниже поверхности аллювиальной террасы обнажается участок древнего поселения с кремневыми и медными орудиями, датируемыми 3000 лет до н. э. Вычислено, что размах региональных тектонических движений здесь составляет 3 мм/год. Приведенный пример интересен для оценки относительной активности складкообразования и вековых движений.

Вековые тектонические движения сводятся не только к образованию плавных изгибов земной поверхности. Формой их проявления следует считать также медленные движения по разломам, происходящие с соразмерными скоростями. Например, горизонтальные перемещения по известному сбросу Сан-Андреас составляет 10 мм в год, горизонтальные перемещения по «альпийскому сдвигу» Новой Зеландии — 1500 м со времени последнего межледниковья, что отвечает скорости перемещения 25 мм/год. Совместное проявление плавных и разрывных перемещений в пределах отдельных складок и куполов хорошо устанавливается путем историко-геологической реконструкции, например для поднятий Юго-Западной Туркмении, Эмбы, Апшеронского полуострова, Западной Сибири.

Нарушения общего фона вековых движений различными местными аномалиями вызваны локальными движениями, связанными с разнообразными неглубокими очагами или процессами. К такого рода аномалиям относятся современные поднятия поверхности Земля над растущими соляными массивами и опускания над

смежными с ними компенсационными мульдами, а также над ядрами некоторых антиклинальных складок.

К локальным движениям относятся движения земной поверхности над горными выработками (*техногенные движения*). Они затрагивают слой небольшой мощности, соответствующий глубине заложения выработок. Однако данные детального их изучения могут использоваться для сравнительного анализа крупных тектонических прогибаний геологического прошлого. Интересны, в частности, явления горизонтального смещения прогибаний над выработками в зависимости от продвигания забоев (рис. 16).

Интенсивные локальные прогибания старых нефтеносных районов Апшеронского полуострова за период 1912—1928 гг. (Сураханы — 31,5 мм/год, Романы — 16,7 мм/год и Сабунчи — 11,5 мм/год) обусловлены выносом песка из нефтяных пластов в условиях их открытой эксплуатации. В Лонг-Биче (Калифорния) скорости опускания земной поверхности над разрабатываемыми нефтяными залежами достигали 50 мм в месяц. Опускания в районе Делано (Калифорния) связываются с усиленной откачкой грунтовых вод и т. д.

Унаследованность современных движений, устанавливаемая для Восточно-Европейской платформы, прибрежных районов Каспия, Финляндии, Нидерландов и других районов, позволяет считать, что измеряемые параметры современных движений были присущи также тектоническим движениям геологического прошлого, и, следовательно, данные изучения первых можно использовать при реконструировании вторых. Этот общий вывод может быть распространен и на горизонтальные компоненты движений.

Среди современных тектонических движений особое место занимают сейсмогенные движения. Они могут быть по своему распространению локальными, но могут охватывать огромные территории, вполне соразмерные с площадями распространения вековых движений того или иного знака. Так, одна из крупных площадей опусканий (Московская синеклиза и смежные районы) заведомо меньше, чем площадь, в пределах которой колебания поверхности Земли ощущались человеком (5 млн. км²) при Гоби-

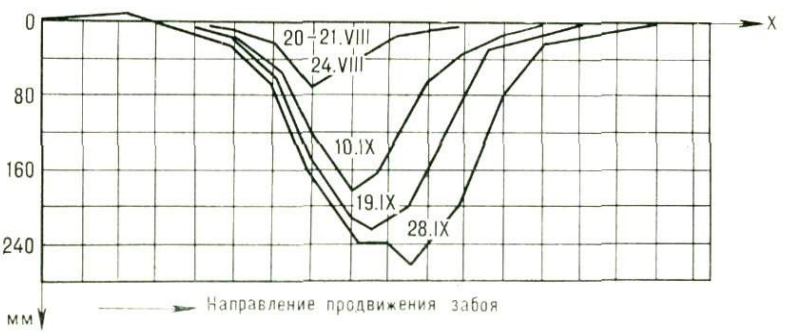



Рис. 16. Семейство эпюр вертикальной составляющей движений поверхности земной коры под влиянием горных выработок. По С. Г. Авершину (1964 г.)

Алтайском землетрясении. Судя по масштабам, вековые и сейсмогенные движения (не все) можно считать различными по форме проявлениями глубинных процессов, возможно, имеющими единую природу. О связи сейсмогенных движений с вековыми говорит также приуроченность землетрясений к зонам больших градиентов скоростей вековых движений.

Скорость сейсмогенных движений, как правило, не измеряется: настолько быстро и неожиданно они происходят. Об их величинах судят по размерам сейсмогенных дислокаций, образовавшихся в результате землетрясений.

Для характеристики сейсмогенных движений воспользуемся работами В. П. Солоненко и Н. А. Флоренсова по Гоби-Алтайскому землетрясению 1957 г. Судя по их описаниям, сейсмогенные движения проявились как в виде упругих деформаций, так и в виде дислокаций. «Упругая» форма движения выразилась в возникновении волн, которые шли, как «при ритмичном встряхивании матраса»; эти земляные волны «катали овец, как шарики». Величина волн и скорость их перемещения замерены не были. Землетрясение вызвало образование системы разнообразных дислокаций, причем в течение не более трех минут в плейстосейстовой области образовались почти все типы разрывных нарушений, известных в структурной геологии.

Основные перемещения произошли по крупному широтному разлому на протяжении 240—250 км, причем размер сдвиговых перемещений достигал 8,85 м, а вертикальных — 4 м. В плейстосейстовой области были выделены сбросы (с перемещениями до 10,7 м), ступенчатые сбросы, сбросо-сдвиги, взбросы, взбросо-сдвиги (с горизонтальным смещением до 8,85 м), надвиги, поддвиги, сдвиги, трещины, изгибы-валы (например, высотой 4—5 м, длиной 15—20 м), сейсмокупола (высота 5—6 м) с компенсационными примыкающими к ним опусканиями, грабены, горсты, чешуйчатые надвиги и т. д. Скорости сейсмогенных движений Гоби-Алтайского землетрясения (метры в секунду) превышают скорость вековых тектонических движений (миллиметры в год) на 10 порядков.

По В. П. Солоненко при землетрясении 26 июня 1905 г. наблюдались сбросовые смещения в тоннелях у оз. Байкал с разрушением креплений. 13 января 1962 г. произошло опускание, в результате которого исчезла под водами Байкала Кударинская степь площадью 197 км$^2$ и на ее месте образовался залив «Провал» глубиной до 2,9 м. Очевидно, при последующих землетрясениях происходило дальнейшее опускание дна залива. Сейсмогенные движения в районе Байкала происходят на фоне вековых тектонических движений. Так, в южной части оз. Байкал инструментальными наблюдениями 1906—1907, 1928 и 1937 г. установлено относительное вертикальное перемещение точек до 2 м в столетие, причем во времени это перемещение было неравномерным (значительное уменьшение скорости отмечалось в период 1928—1937 гг.).

При землетрясении в Сан-Франциско в 1906 г. образовался сбросо-сдвиг, параллельный берегу Тихого океана на протяжении 350 км с перемещением 7 м по горизонтали и 1,3 м по вертикали. Сбросо-сдвиг совпал с уже существовавшей сбросовой линией. При землетрясении в 1872 г. в Скалистых горах образовались ступенчатые сбросы; длина главного из них достигла 80 км, вертикальная амплитуда 5—6 м. В 1897 г. в Ассаме образовались три больших сброса. Длина самого большого была 22 км при вертикальном смещении 12 м.

При Большом трещинном Толбачинском извержении в 1975—1976 гг. (Камчатка) произошло в течение второй половины августа 1976 г. грандиозное обрушение вершинного кратера Плоского Толбачика с образованием провала диаметром 1600 м и глубиной 500 м. Там же были проведены наблюдения над скоростью развития трещин. Образовавшаяся трещина через 20 минут имела длину 450 м, а через 3 часа — 480 м; отмечено, что трещины в скальных породах были много длиннее, чем в рыхлых пирокластических толщах. Были определены скорости формирования геологических тел вулканического происхождения (конусов) — за 72 дня извержения были образованы шлаковые конуса высотой 332, 291 и 141 м. Здесь речь идет не о тектонических движениях, а именно о скорости формирования геологических тел, поскольку данный процесс связан лишь с изменением систем вещественных частиц земной поверхности.

Приведенные примеры показывают, что быстрые тектонические сбросовые перемещения при землетрясениях могут охватывать площади большой протяженности (до 350 км в длину) и обладают как вертикальной, так и горизонтальной составляющей. Об одновременном проявлении быстрых современных тектонических движений на огромных пространствах говорят приводимые Н. П. Кропоткиным данные о распространении резких тектонических импульсов. В 1943 г. возникновение нового вулкана Парикутин в Юго-Западной Мексике сопровождалось землетрясениями как вблизи вулкана, так и в районах, удаленных от него на 350—500 км. При этом наблюдалась перекличка сейсмических толчков; после удара вблизи вулкана тотчас с небольшим интервалом последовало землетрясение в тех же удаленных районах. 18 апреля 1932 г. в чилийско-аргентинских Андах одновременно пришли в действие 25 крупных вулканов, образующих ряд длиной в 800 км.

Распределение горизонтальных сейсмогенных смещений может представлять собой весьма сложную картину.

Некоторые землетрясения сопровождаются огромными оползнями молодых отложений на подводных склонах океана. Размеры таких оползней достигают сотен тысяч квадратных километров, перемещения по ним — сотен километров; подобные же, но меньших размеров подводные оползни водонасыщенных осадков наблюдаются в озерах. Особые тектонические явления сопутствуют землетрясениям при наличии водонасыщенных прослоев (напри-

мер, плывунов). Такие породы текут через трещины в покрывающих слоях, что приводит к образованию небольших грязевых вулканов и, возможно кластических даек — грязевой вулкан при Ашхабадском землетрясении.

Современные тектонические движения фиксируются в районах действующих вулканов. Например, после извержения вулкана Сакурадзима 1941 г. нивелировкой установлено образование концентрического проседания глубиной 89,4 см, имеющего характер вулкано-тектонической депрессии. При возникновении в 1954 г. нового вулкана Сёвасиндзан на о-ве Хоккайдо наблюдалось перед извержением сводовое поднятие высотой 50 м.

К явлениям динамической тектоники принадлежат и сами «живые» вулканические очаги, изучаемые геофизическими методами. Наблюдаемые явления экранирования поперечных волн позволили Г. С. Горшкову (1958 г.) определить глубину (60 км), протяженность и мощность (25—35 км) и объем (10—20 тыс. км$^3$) магматического очага Ключевского вулкана на Камчатке.

## РОЛЬ КОСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Представляют большой интерес попытки выяснить периодичность проявлений землетрясений и извержений вулканов, а следовательно, связанных с ними сейсмогенных и вулканогенных тектонических движений. Еще А. Перре, обработав данные по 23 тысячам землетрясений с 1751 по 1872 г., нашел, что частота землетрясений зависит от фаз Луны и ее расстояния от Земли, а именно повышается к сизигиям и перигеям. Ту же закономерность подтвердили японский геофизик К. Кнотт в 1897 г., Л. Коттон (Великобритания) в 1922 г., Л. Родес (Испания) в 1934 г., М. Ален (США) в 1936 г. Используя данные приказбекских землетрясений, Г. П. Тамразян (1956 г.) пришел к выводу, что если число землетрясений в квадратурах принять за 100 %, то в сизигиях оно равно 154 %. Подобные же закономерности, подтверждающие связь землетрясений с космическими факторами, им же намечены для Крыма, Туркмении, Закавказья и северо-западной части Тихого океана. Н. Г. Нестеренко и М. В. Стовас отмечают, что все катастрофические землетрясения 1960 г. (Агадир, Чили и др.) отклонялись не более чем на трое суток от сизигийных положений.

Такое распределение землетрясений хорошо увязывается с тем фактом, что приливообразующие силы Луны в сизигиях и перигиях значительно больше, чем в квадратурах и апогеях.

Однако распределение частот землетрясений таково, что в сизигиях их в общем больше, чем в квадратурах, но не намного (например, по А. Перре, от 3,3 до 12,8 %). Неудивительно поэтому, что эта закономерность, вытекающая из обработки массовых данных, часто не находит подтверждения для некоторых конкретных районов. Так, согласно В. В. Ломакину (1966 г.), из 23 крупных землетрясений на Байкале только 10 приходится на

сизигии. Однако этот исследователь для Байкала устанавливает другую, не менее важную закономерность, а именно связь периодичности землетрясений с нутационными периодами (периоды колебания наклона лунной орбиты) длительностью 18,6 года. В. В. Ломакин объясняет связь землетрясений с приливами тем, что приливы служат дополнительными или так называемыми спусковыми силами в происхождении землетрясений.

Периодичность, наблюдаемая также в вулканической деятельности, по-видимому, тесно связана с периодичностью землетрясений. Такая периодичность была установлена, в частности, для Везувия и Стромболи.

В. А. Широков (1978 г.) по наблюдениям на Камчатке периодичность вулканических извержений и землетрясений с 19-летним циклом лунных приливов связывает с изменением склонения Луны от 18°19′ до 28°35′ в период 18,61 года. Связь сейсмической и вулканической активности с 19-летней компонентой приливообразующей силы Луны может быть использована при прогнозе землетрясений.

Важные факты и соображения относительно космических влияний на тектонические процессы сообщались П. Н. Кропоткиным и Ю. А. Трапезниковым (1963 г.). Они обосновывают связь между изменениями: а) продолжительности суток, что рассматривается как результат изменения угловой скорости вращения Земли вокруг своей оси, б) периода и амплитуды чандлеровских колебаний, в) скорости дрейфа магнитного поля Земли (рассматривается как результат скольжения оболочки Земли по ядру). Коэффициент корреляции этих трех явлений, а также корреляции первых двух из них с суммарной энергией глубоких землетрясений составляет 0,8—0,9. По другим данным, энергия землетрясений коррелируется с вариациями солнечной активности. П. Н. Кропоткиным и Ю. А. Трапезниковым высказана любопытнейшая, с точки зрения тектониста, хотя и очень предположительная идея о том, что общей причиной согласующихся геофизических и тектонических явлений могут быть изменения гравитационной постоянной, например, с изменениями гравитационного влияния масс Вселенной при их перераспределении в пространстве, изменениями скорости движения Солнечной системы на галактической орбите. Очень возможно, что причины тектонических событий геологического прошлого, малопонятные при привычных представлениях о неизменности гравитационной константы, могли бы быть истолкованы с позиций этой идеи. Могли бы быть намечены общие пути геолого-астрономических исследований. Интерес, который связан с исследованиями явлений периодичности землетрясений и вулканических извержений, вызывается открывающейся возможностью исследования космических влияний на тектоническую жизнь Земли, в частности не только на упругие, но и на остаточные (дающие дислокационные результаты) тектонические движения. Можно думать о перспективе перехода от выяснения короткой периодичности (фазы луны, нутации) к длин-

ной периодичности, распространяющейся на значительные отрезки геологического времени, и о выяснении связей тектонической энергии Земли не только с лунно-солнечными, но и с более общими, пока еще возможно плохо изученными космическими влияниями.

Автором совместно с Л. А. Масловым было показано, что ритмичность современных тектонических движений позволяет применять для их описания аппарат волновой механики и рассматривать с этой позиции «тектонические волны». С таких «волновых» позиций уже изучались современные движения земной коры. В. В. Ломакин еще в 1960 г. отмечал движения земной поверхности в виде волн, идущих параллельно друг другу от юго-восточного к северо-западному берегу Байкала. В. И. Синюковым получены данные о существовании для Сихотэ-Алиня тектонических волн, зафиксированных в строении и развитии осадочных бассейнов мезозоя. Этому же вопросу посвящены теоретические работы В. Н. Николаевского, В. А. Дубровского и др.

Тектонические волны, так же как и любые другие, характеризуются длиной, периодом (или частотой), скоростью распространения, амплитудой и другими параметрами. Периоды этих волн могут составлять десятки, тысячи и миллионы лет, а скорости распространения варьировать от нескольких сантиметров до десятков километров в год. Из этих данных мы можем определить длину волн в сотни и тысячи км и их частоту в пределах $10^{-9}$—$10^{-16}$ герц.

Более быстрые тектонические волны длиной около 20 тысяч км, скоростью распространения 1700 км/час и частотой $10^{-5}$ герц, т. е. в миллион раз большей частоты упомянутых медленных тектонических волн обладают строгой регулярностью. Речь идет о приливах твердой Земли, которые имеют отчетливо выраженный упругий характер.

Ограничимся рассмотрением именно этого типа современных движений земной поверхности и отметим возможность наличия хотя бы очень небольшой упругой компоненты у современных тектонических волн. Но если рассматриваемые движения несомненно связаны с воздействием Луны, то генезис более медленных низкочастотных движений может быть более сложным и в значительной степени определенным внутриземными процессами. Но и здесь не исключена хотя бы в ничтожной мере связь с дальними космическими воздействиями. Этот вопрос пока не изучен, но заслуживает внимания.

При движении Земли в неоднородном гравитационном поле, создаваемом Солнцем, Луной и планетами, в ней возникают напряжения и деформации, распределение которых носит очень сложный характер. Наибольшие амплитуды и скорости приливных движений определяются секториальной компонентой лунных приливов. Секториальная функция имеет в качестве узловых линий, т. е. линий обращения функции в нуль, только меридианы, расположенные на 45° по обе стороны от меридиана возмущаю-

щего тела (Луны). Эти линии делят сферу на четыре сектора, в которых функция поочередно принимает положительные и отрицательные значения (рис. 17). Области, где функция положительная, являются областями прилива, т. е. положительных смещений земной поверхности. Отрицательные области — это области отлива. Секториальная компонента лунных приливов представляет собой волну смещений с периодом в 12 часов, бегущую все время в западном направлении, т. е. в обратном по отношению к вращению Земли. Вертикальные приливные смещения достигают максимальных значений в приэкваториальной области, где достигают 50 см. В приполярных областях эти смещения близки к нулю. Экваториальные же (максимальные) значения вертикальной скорости приливных смещений составляют 4 см/час.

При движении приливной волны ее максимум достигается не в плоскости меридиана возмущающего тела, а с некоторым запозданием, которое составляет для твердой Земли примерно 1° (рис. 18).

Запаздывание приливной волны свидетельствует о том, что материал Земли не идеально упругий даже для высокочастотного воздействия приливных нагрузок. Из-за запаздывания приливного горба в Земле возникают незначительные пульсирующие, но знакопостоянные тангенциальные усилия, действующие в одном, т. е. западном, направлении в течение всего времени существования планеты. В планете развиваются малые, но необратимые и накапливающиеся деформации, реализующиеся в однонаправленном (западном) смещении верхних земных слоев относительно нижних.

В экспериментах новосибирских исследователей группы Е. И. Шемякина приливная деформация имитировалась путем

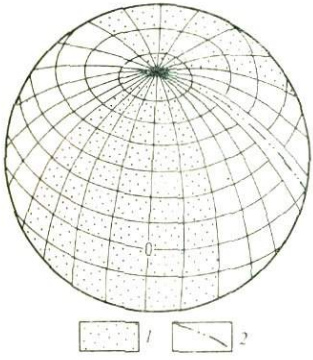



Рис. 17. Площадное распространение положительных и отрицательных значений лунно-приливных составляющих относительно лунного меридиана

*1 — отрицательные значения составляющих; 2 — лунный меридиан*

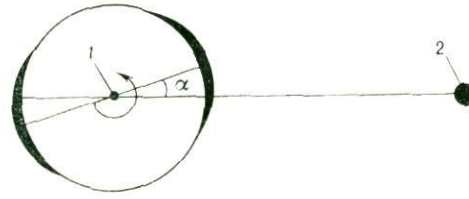



Рис. 18. Схема, показывающая положение приливного горба при запаздывании деформаций по отношению к деформирующим напряжениям

*1 — полюс; 2 — Луна*

вращения гибкого цилиндра, заполненного сыпучей или жидкой массой, в жестком статоре с эллиптическим внутренним сечением, что приводило к значительным горизонтальным перемещениям среды. В этом можно усмотреть аналогию с описанным механизмом и косвенное подтверждение возможных крупных горизонтальных перемещений земных масс (рис. 19). Эти эксперименты очень интересны и подтверждаются расчетами в том смысле, что, учитывая физические свойства Земли, приливная энергия идет не только на замедление вращения Земли в целом, но и на внутриземные деформации и другие процессы.

Движение земных оболочек, индуцированное лунными приливами, имеет явно выраженную географическую зональность. Максимальные скорости западного смещения должны наблюдаться в приэкваториальных областях, а минимальные, или нулевые,— в полярных. Оценка скорости западного движения и распределение ее по радиусу Земли и широтам зависит от модели, принятой исследователем. Например, могут быть положены в основу представления, что движения эти совершаются только на уровне астеносферы или же только на уровне коро-мантийной границы, или же на уровне нескольких границ. Западное смещение может быть также рассеяно по толщам пород. Скорости таких тангенциальных движений могут достигать нескольких сантиметров в год, а накопление напряжений происходить со скоростью в миллионы паскалей в миллион лет. Отсюда возникает непосредственная возможность преобразования энергии приливов в тектоническую энергию. Накапливающиеся в больших объемах напряжения действуют одновременно и однонаправленно. Суммирование этих напряжений приводит к возникновению больших усилий, способных вызывать значительные тангенциальные смещения. Накапливаемые напряжения в результате действия такого механизма могут быть очень большими, так как процесс идет длительно и непрерывно. Отсюда становится очевидной роль рассматриваемых движений в образовании дислокаций, в частности планетарных дислокаций широтного простирания. К такого рода образованиям можно отнести широтную гравитационную Бразильско-Гвинейскую аномалию, трансформные разломы Атлантического океана, Тихоокеанские разломы Мендосино, Пайонир, Мэррей и др. Эти

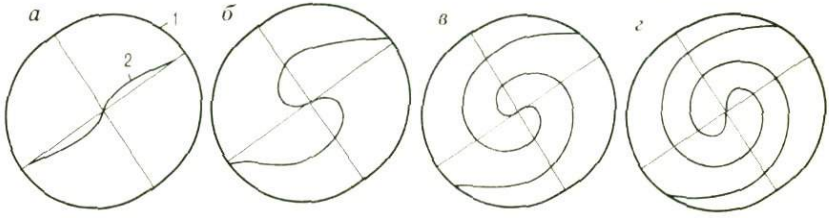



Рис. 19. Смещение среды во времени при циклических внешних воздействиях (эксперимент Е. И. Шемякина)

1 — гибкий цилиндр, заполненный сыпучей или жидкой массой (то же на рис. б, в, г); 2 — маркирующая полоса; а, б, в, г — последовательные положения частиц маркирующей полосы во времени

широтные дислокации можно связать с различиями в скоростях западного движения и распределением напряжений в различных широтных зонах от полярной до экваториальной. Образование широтных разломов уменьшает сцепление полярных и экваториальной зон, что, в свою очередь, усиливает зональную контрастность относительного горизонтального перемещения оболочек Земли. Ю. Ф. Копничев в 1983 г. отметил, что скорость растекания аномальной мантии для запада Тихого океана монотонно увеличивается от Алеутской дуги к экватору.

Как показывают расчеты, сделанные различными авторами, например С. Ранкорном, плотностная конвекция вещества нижней мантии также способна создавать высокие напряжения — примерно того же порядка, что и рассматриваемый здесь приливный механизм. Однако картина конвективных движений отличается гораздо большей неоднородностью, чем «приливных», что снижает их тектоническую значимость по крайней мере на планетарном уровне. Взаимодействие этих двух типов движений, вероятно, должно выражаться в том, что индуцированные приливным механизмом перемещения вещества будут подавляться конвективные движения противоположного знака и усиливать совпадающие. По Ю. Ф. Копничеву, скорость перетекания аномальной мантии в западном направлении в несколько раз больше, чем в восточном и для Тихого, и для Атлантического океана.

Относительные смещения оболочек должны приводить к диссипативному разогреву примыкающих к трущимся поверхностям земных масс. Это может выражаться в появлении частично подплавленных зон с пониженной вязкостью, что, в свою очередь, облегчает взаимное перемещение движущихся слоев. С механизмом диссипативного разогрева может быть связано образование и существование астеносферы. Развитие разогретых зон разломов и слоев представляет самоподдерживающий процесс, что обеспечивает их длительное и устойчивое существование во времени и пространстве.

Западное перемещение земных оболочек по различным причинам, связанным с неравномерным распределением реологических свойств земной коры и мантии, их кусочно-блоковым строением, неравномерной мощностью слоев, изменениями отношений с конвекционной кинематикой, могут трансформироваться в вертикальные движения и приводить к образованию длительно развивающихся крупных структурных форм на уровне коры и мантии.

Рассмотренные явления в принципе имеют глобальный характер, но могут реализовываться в региональных и даже локальных масштабах. К глобальным проявлениям западного перемещения земных слоев возможно отнести тихоокеанские области фронтального торошения и арьергардные зоны островных дуг и окраинных морей.

Приливное трение приводит к замедлению вращения Земли, что установлено инструментальными астрономическими измерениями. С этим замедлением связано преобразование энергии вра-

щения планеты в ее внутреннюю энергию. В далеком геологическом прошлом эта скорость могла быть в миллион раз больше, что подтверждается особенностями развития планеты в раннем докембрии.

Приведенные оценки поступления приливной энергии показывают, что средняя за все время существования Земли энергия будет на несколько порядков выше любой другой и, значит, может *определять всю сумму тектонических преобразований планеты.* Важнейшей особенностью поступления приливной энергии является ее *организованный характер*, т. е. регулярный во времени и пространстве, благодаря чему приливное воздействие может модулировать или организовывать другие источники энергии. Таким образом, энергия твердых приливов Земли, т. е. энергия, обусловленная внешними космическими воздействиями, является вполне достаточной для реализации всего комплекса тектонических процессов, происходящих в планете. Так как тектоническая энергия конвертируема, *она способна обеспечить не только* все механические процессы (вертикальные и горизонтальные движения, образование разломов, тектоническую расслоенность и т. д.), но и всю гамму термальных преобразований, во всяком случае в пределах коры и мантии, а именно: расплавы, вулканизм, метаморфизм, возникновение зон пониженной вязкости или зон с другими измененными физическими свойствами.

*Если представить существование сплошного слоя с вязкостью* обычно приписываемой астеносфере, то с начала мезозоя внешняя оболочка Земли могла бы продвинуться в западном направлении на 25 000 км, иными словами, совершить примерно половину оборота. Учитывая сложность и неравномерность строения Земли, на что указывают многочисленные данные о неоднородности мантии, такое «безостановочное» и однородное движение практически невероятно. Надо думать, что значительная часть энергии расходуется на разломы, вертикальные движения и термальные процессы *вплоть до метаморфизма и образования вулканических очагов.* Короче говоря, организованная энергия космических воздействий может реализоваться в любых формах и служить надежным энергетическим аргументом для многих геотектонических гипотез.

Сделанные здесь выводы о возможности создания основных резервов тектонической энергии Земли за счет космических воздействий говорят в пользу большой роли горизонтальных движений в литосфере, что хорошо согласуется с соотношением вертикальной и горизонтальной составляющих в измеряемых современных *движениях земной поверхности.*

## НОВЕЙШИЕ ТЕКТОНИЧЕСКИЕ ДВИЖЕНИЯ, СОЗДАВШИЕ ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ СОВРЕМЕННОГО РЕЛЬЕФА

Современные движения в принятом нами смысле не имеют строгого нижнего хронологического ограничения. 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 гипергенной оболочки при реконструкциях 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*. Главная их черта — связь с формированием рельефа. Этим объясняется и то, что основными методами изучения новейших движений являются геоморфологические методы. Наиболее надежный, объективный способ изучения новейших движений земной коры, как считает Ю. А. Мещеряков, основан на установлении деформаций разновозрастных морских и речных террас, поверхностей выравнивания и других «геоморфологических уровней». Неотектоническое движение (если не считать их «современной» части) не могут непосредственно наблюдаться или измеряться. Наблюдаются лишь их результаты; точнее будет сказать, наблюдаются 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, образование и перемещение речных извилин, положение местных базисов эрозии, положение береговых линий и т. д., существенно облегчаются 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 деятельность и их распространенность. Движения эти совершенно необязательно должны были начаться одновременно. Вернее всего, они как таковые вообще не начинались, а входят 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 нами современный рельеф Земли, благодаря своим структурным особенностям, позволяет 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, поскольку это позволяют хроностратиграфическая шкала и цели конкретных исследований. Могут, например, рассматриваться движения четвертичного периода, движения четвертичного периода и плиоцена, дви-

жения кайнозоя и т. д. Для наших целей, когда новейшие тектонические движения рассматриваются как процесс, имеющий определенные физические характеристики, ни один из этих выборов 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 подножия гор) и характерные изменения их вещественного (гранулометрического, минерального) состава и часто палеонтологической характеристики. Параллельное изучение геоморфологических особенностей поднимающегося района и состава так называемых коррелятных осадков, формирующихся в прилегающих областях относительного опускания, позволяет связывать строение толщи осадков с тектоническими движениями и устанавливать некоторые руководящие закономерности.

Если мы теперь 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 наших руках останутся только одни геологические методы. Под геологическими методами мы будем понимать все методы реконструкций движений, связанные с изучением толщ, слоев, отложений, входящих в гипергенную оболочку. Для неотектонических движений эти методы не являются основными, хотя они и существенны.

Методы непосредственного измерения тектонических движений, применимые только к движениям, совершающимся на глазах человечества, позволяют выяснять кинематическую характеристику движений, устанавливать их траектории и скорость. Современные методы повторных нивелировок и триангуляций дают, впрочем, лишь осредненные значения скоростей для интервала времени между измерениями; траектория характеризуется лишь величинами вертикальной и горизонтальной компонент.

Можно мыслить себе в идеале и перспективе создание точного регистрирующего прибора, монтируемого в репере и дающего полную кинематическую характеристику движения.

*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*, определенного стратиграфической датировкой. Такие осредненные значения скоростей могут быть очень далеки от величин физических скоростей тектонического движения. Для тектонических *движений эпохи* человеческих цивилизаций результаты геоморфологических методов могут контролироваться непосредственно 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 установления 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 12—14 км. С. А. Захаров 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 и космических снимков.

*Геологические методы* применяются к движениям геологического прошлого. Скорость движения определяется в среднем для стратиграфических датированных интервалов, ограниченных пачками, пластами и т. д., о гипсометрических уровнях формирования которых можно строить предположения на основании их литологического состава или палеонтологических характеристик. В практике распространен грубый способ определения скоростей по мощностям (предполагается, что скорость пропорциональна мощности для данного стратиграфического интервала) без учета рабочих гипотез *о глубине образования осадка*. Расчеты скоростей по этому способу не рекомендуется использовать в научных выводах, так как в ряде случаев большие мощности осадков могут формироваться *в районах, не испытывающих опускания, а малые мощности* — в районах интенсивного погружения. Скорости тектонических движений, определенные геологическими методами, не соответствуют физическим скоростям даже при условии точности стратиграфических датировок.

В стратиграфическом интервале разреза, принятом для исчисления средней скорости движений по скорости осадконакопления,

*накопление осадков могло происходить крайне неравномерно*, сопровождаться размывами, почти незаметными в разрезах толщ (диастемы); накопление всей толщи осадков могло произойти в течение времени, *ничтожно малого по сравнению с продолжительностью* стратиграфического интервала. Тогда исчисленная средняя скорость движения (осадконакопления) будет во много раз меньше действительной скорости. Эти два обстоятельства (несоответствие скоростей, а также неполнота и неравномерность во времени заполнения стратиграфического интервала осадками) делает задачу определения скорости тектонических движений по геологическому разрезу крайне неопределенной. Теряет свою определенность даже способ исчисления скоростей по интервалам между стратиграфическими горизонтами одинакового батиметрического уровня осадкообразования. В этом случае заполнение интервала осадками может происходить при тектоническом покое в условиях эвстатического изменения уровня вод в бассейне.

В связи со сказанным уместно привести выдержку из работы Е. Вегманна: «*В новейшей литературе известен ряд попыток* вывести движения коры непосредственно из последовательности осадконакопления. При этом, однако, не учитывается ряд зависимостей. *Изменения береговой линии обусловлены как движениями* коры, так и колебаниями уровня моря; климатические и гидрографические факторы обусловливают денудацию и перенос осадков точно так же, как и возможное положение рельефа. Тот, кто захочет составить представление о всех этих изменяющихся факторах (здесь упоминались только главные), изучая результаты их проявления, вряд ли примкнет к примитивным взглядам на осадконакопление и движения земной коры, которые все еще широко распространены и поныне» [«Живая тектоника», с. 27]. Однако перспективы определения величин перемещения земной поверхности по мощности отложений не во всех случаях столь неопределенны. В толщах прибрежных отложений, накопившихся в условиях плоского рельефа, мощности для определения стратиграфического интервала будут отражать относительное погружение отдельных районов. Эффект эвстатических колебаний *в таком случае будет одинаков* для всей площади. Так, можно думать, что глубина подошвы плейстоцена в Нидерландах отражает величину тектонического *погружения за четвертичный период*. Точность соответствия между мощностью и величиной перемещения определяется амплитудами рельефа и точностью определения батиметрического уровня образования отложений по их литологическим и палеонтологическим признакам. Для Нидерландов эта точность может быть оценена приблизительно в 100 м. Подобные же условия определения размеров перемещений по мощностям плейстоценовых отложений, повидимому, существуют в прилежащих к Каспийскому побережью частях Прикуринской, Прикаспийской, Южно-Туркменской низменностей и других подобных районах.

Для тектонических движений эпохи формирования современного рельефа результаты геологических методов могут контроли-

роваться результатами определений по геоморфологическим данным. С методами непосредственного измерения геологические методы не соприкасаются и ими не контролируются.

Все перечисленные методы, наиболее принятые соответственно для изучения современных, новейших и древних движений, применяются в полной совокупности только для изучения новейших движений. Новейшие движения являются тем «мостом», который позволяет нам при реконструкции движений геологического прошлого учитывать опыт человека по наблюдениям этих движений как физического явления. Вне этого опыта нельзя было бы на основании наблюдений над разрезами и структурами судить о тектонических движениях геологического прошлого. Отмеченная выше неопределенность задачи ведет к возможности высказывания различных 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. Проявления новейших движений (движений, создающих современный рельеф) аналогичны проявлениям современных движений, что вполне естественно, поскольку, как уже отмечалось, эти группы движений неотделимы и составляют одно целое. Так, геоморфологическими методами впервые на основании анализа береговых линий и изгибов террас оз. Бонневиль в 1890 г. Г. К. Гилбертом установлены вековые движения, получившие название эпейрогенеза. При переходе к изучению эпейрогенических движений более далекого геологического прошлого мы вынуждены для их реконструкции использовать лишь геологические методы.

Современный, новейший и древний эпейрогенез представляет собой единый процесс. С. С. Шульц отмечал, что если это было бы не так, то не было бы основания использовать метод актуализма в реконструкциях древних тектонических процессов.

## РЕКОНСТРУКЦИЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ПРОШЛОГО

### Тектонические движения и тектоническая структура

Главным методом реконструкции тектонических движений геологического прошлого (движений, не нашедших отражения в современном рельефе) является изучение отложений. Распределение мощностей и фациальных типов пород в слое (пачке, толще), кровля и подошва которого стратиграфически датированы, 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 узком смысле этого слова). 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 изменение 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 признать, что тектоническая структура в принципе может формироваться без участия тектонических движений. Отсюда следует, 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, что погружение в геосинклиналях 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. Это же замечание относится к выводам Л. М. Бириной о «структуре» вертикальных движений на Восточно-Европейской платформе.

Приведенные нами примеры со стационарным водоемом и стационарной горной страной были 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 по выполнению задачей. Знания структуры (последовательность слоев, латеральные изменения мощностей и т. д.) здесь недостаточно. Необходимы тщательные фациальные реконструкции, позволяющие судить об особенностях палеогеографической обстановки и оценивать ее роль в формировании структуры. На различных участках земной поверхности формирование отло-

жений в различной степени определялось палеогеографическим фактором 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 — *реконструкция тектонических движений* может представлять разрешимую задачу. Думается поэтому, что для реконструкции и изучения тектонических движений прошлого надо 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 размеров, в которых обычно происходит более интенсивное накопление осадков, чем на прилежащих к ним частям поднятий.

То же самое происходит при движении по сбросам и флексурам. Поднятое крыло сброса (флексура), выдвигаясь в своем относ*ительном перемещении вверх, обусловливает поднятую* ступень в рельефе, отделенную уступом от пониженной ступени, соответствующей опущенному крылу сброса (флексуры).

Одинаковый (или близкий) батиметрический уровень формирования осадков указывает, что все 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. Установлением закономерно связанных с тектоническими формами изменений литологического состава и мощности осадочных толщ и слоев доказываются одновременность и длительность 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.

Кстати говоря, метод мощностей, применяемый с учетом палеогеографических и фациальных данных (в том числе палеобатиметрических), позволяет подходить к количественной оценке вертикальной компоненты тектонических движений. В этом смысле заслуживает внимания также понятие *производительность тектонических сил*, которая, согласно Г. Штилле, определяется совершенными за единицу времени перемещениями масс в вертикальном и

горизонтальном направлениях и внутренними преобразованиями. Представляется весьма перспективной возможность количественных оценок тектонических процессов по производительности тектонических сил. К сожалению, методика такого анализа совершенно не разработана, если не считать «объемного метода» А. Б. Ронова, имеющего более частное значение.

Из сказанного следует, что существуют различия понятий «тектоническая структура» и «тектонические движения». Тектоническая структура формируется как тектоническими движениями, которым в подавляющем большинстве случаев принадлежит ведущая роль, так и рядом других факторов; в отдельных же случаях в формировании тектонической структуры роль тектонических движений весьма мала. Отсюда также становится ясной неправильность определения тектоники как науки о тектонических движениях. Такое понимание отвлекло бы нас от изучения тектонической структуры во всей ее сложности и многообразии и заставило бы ограничиться исследованием только тех искусственно выделяемых ее особенностей, формирование которых связано непосредственно с тектоническими движениями.

## АНАЛИЗ МОЩНОСТЕЙ И ФАЦИЙ

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. выяснить 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 незначительными. Однако и при исследовании небольших структурных форм очень важно картину распределения мощностей дополнять данными о фациальных и литологических изменениях отдельных горизонтов.

При исследовании крупных областей ввиду значительности фациальных изменений они имеют коренное значение для выяснения особенностей развития структуры и взаимосвязи фациального состава слоев и 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 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 на больших глубинах и огромном удалении от берега.

Важно уяснить себе роль изучения мощностей и фаций при реконструкции и исследовании тектонических движений. Мощности имеют размеры и поэтому вносят элементы метрики в изучение движений. Вместе с тем мощности могут соответствовать размерам вертикальных 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 фациальных данных 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 (указывают на одинаковый и неизменный уровень формирования осадков) и определенны (указывают на этот уровень с точностью, которая будет сочтена достаточной для определения скорости движений), 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 хроностратиграфического расчленения 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. Зная закономерные связи между тектоническими формами и распределением типов осадков, мы можем построить гипотетические карты и разрезы, указать на них области вероятного распространения интересующих нас фациальных типов и, проверяя наши построения бурением или другого рода разведочными работами, мы можем существенно развить наши неполные представления о структуре и ориентировать поиски полезных ископаемых.

Метод мощностей и фаций в таком случае применяется как бы в обращенном виде, т. е. не по фациям и мощностям определяются тектонические структуры и движения, а по тектонической структуре выясняется размещение вещества.

Такой обратный метод называют *структурно-фациальным анализом*; он заключается в изучении фациальных особенностей от-

ложений на основе тектонического развития данного района и сочетает в себе методы, принятые в литологии и тектонике.

Анализ мощностей за последние десятилетия нашел широкое применение при исследовании тектонических движений (преимущественно их вертикальной составляющей) и развития структуры крупных областей. Однако можно также привести многочисленные примеры применения анализа мощностей для выяснения истории формирования отдельных куполовидных и брахиантиклинальных поднятий. Он осуществляется путем составления карт изопахит и диаграмм мощностей, показывающих изменение мощностей вдоль линии профиля. Для учета фациальных данных можно составлять карты фаций для отдельных горизонтов, толщ и т. д., но более целесообразно наносить фациальные данные на карты мощностей; это позволяет рассматривать мощности и фации, в природе тесно связанные друг с другом и отражающие единый тектонический процесс, совместно, не отрывая их друг от друга.

Необходимо составлять также фациально-литологические профили, показывающие изменения для ряда последовательных горизонтов и толщ вдоль линии профиля. На профилях следует не только изображать фации, но и показывать мощность горизонтов. В тех случаях, когда профиль пересекает крупные структурные формы, размеры которого того же порядка, что и ширина фациальных зон, на профиле могут быть изображены фации, мощности и структурные условия залегания слоев. Такой фациальный профиль позволяет судить о соотношении фаций и мощностей с геологической структурой.

Карты мощностей следует также дополнять профильными разрезами, по возможности с детальным расчленением той толщи, для которой составлена карта. Знание структуры толщи, выявляемой на таком профиле, позволяет судить о характере и причинах изменений мощностей.

Попытки решения вопросов тектонического развития на основании сопоставления карт мощностей разных горизонтов, но без привлечения фациальных данных и данных о перерывах являются односторонними и часто приводят к неправильным представлениям. При таком сопоставлении карт необходимо использовать принцип унаследованности, что позволяет прослеживать устойчивые тенденции развития структуры, сказывающиеся на сходном распределении мощностей по площади от горизонта к горизонту, а также избегать ошибок, связанных с интерполяцией (при проведении изопахит), осуществляемой по геометрическим правилам, но без учета геологической обстановки.

Часто считают, что анализ мощностей дает возможность судить более или менее точно о размахе вертикальной компоненты тектонических движений, поскольку предполагается, что погружение земной поверхности полностью компенсируется накоплением осадков. Эта идея была в очень осторожной форме сформулирована Г. Штилле, который считал, что по мощности осадков можно в известной мере судить о величине опускания, а затем значительно

развита В. В. Белоусовым и другими исследователями. Однако в действительности полная компенсация погружения осадконакоплением является лишь частным случаем. Очень часто мощность осадков не отвечает размерам прогибания. Так, например, в некоторых геосинклинальных прогибах за длительные промежутки времени образовались толщи глубоководных осадков, обладающие полным стратиграфическим разрезом, однако весьма маломощные, что свидетельствует о длительном недокомпенсировании прогибания осадконакоплением.

Большое влияние на распределение мощностей может оказывать также рельеф, в условиях которого происходит осадконакопление. Следовательно, при использовании анализа мощностей следует его применять не чисто геометрически (т. е. считая, что линии равных мощностей в точности воспроизводят размеры погружения), а с учетом всей совокупности геологических факторов, возможно, влияющих на распределение мощностей.

Первая в нашей стране карта мощностей была составлена в 1913 г. И. М. Губкиным для рукавообразно залегающей нефтеносной толщи в основании майкопской свиты Нефтяно-Ширванского района. В данном случае изменения мощностей обусловливались рельефом ложа.

В 1924 г. анализ мощностей был применен Н. С. Шатским для палеозоя Донбасса. На основе этого анализа Н. С. Шатский пришел к заключению, что антиклинали и синклинали Донбасса заложены в каменноугольное время. Затем метод анализа мощностей широко применялся для исследования структуры многих нефтеносных областей СССР: Восточно-Европейской платформы, соляных куполов Днепровско-Донецкой впадины, Кавказа и других районов.

Намечаются две точки зрения по вопросу о значении мощностей при тектонических построениях:

Одна из них сформулирована В. В. Белоусовым в 1939 г.; он считал, что между быстротой накопления осадков и интенсивностью погружения земной коры устанавливается весьма полное соответствие и в течение продолжительных отрезков времени один процесс почти в точности компенсируется другим. Допускается, что все морские отложения мелководны и что глубоководные отложения в пределах современной суши почти неизвестны.

Другая основывается на ряде конкретных фактов: предполагается, что мощности отложений являются функцией не только размеров прогибания, но и ряда других геологических факторов. Такая точка зрения отражена в работах Д. В. Наливкина, Н. М. Страхова и др. Б. М. Келлер приводит примеры, противоречащие возможности повсеместного прямого использования величин мощностей для установления размаха тектонических движений. Например, им устанавливается, что палеогеновый флиш Сочинского района (Кавказ) представляет собой образования глубоководные, отлагавшиеся на глубинах 500—1000 м; следовательно, мощности флишевых отложений дают представление не столько

о масштабе погружения, сколько о масштабе заполнения уже существующих впадин. Для Восточно-Европейской платформы он же приводит данные В. А. Вахрамеева о залегании песчаников палеоцена Волгоградской области в эрозионных ложбинах в верхнем мелу. Здесь влияние эрозионного рельефа длительно сказывалось на распределении мощностей осадков; так, сглаживание рельефа амплитудой 25 м продолжалось в течение датского века и частично в палеоцене.

Анализируя различные взгляды, Б. М. Келлер пришел к выводу о том, что метод анализа мощностей при тектонических построениях имеет, несомненно, большое значение для решения вопроса о генезисе структурных форм и характере их движения. Полное соответствие между величиной прогибания и заполнения прогиба осадками наблюдается чаще всего в случае мелководных отложений. В прогибах геосинклинальных областей и эрозионных впадинах мощности определялись не прогибанием, а заполнением этих впадин осадками.

Возможности тектонического анализа мощностей с большой полнотой рассмотрены Р. Г. Гарецким и А. Л. Яншиным. Ими подробно охарактеризованы механизм формирования мощностей отложений и участие в нем различных факторов. Указанными исследователями рассмотрена, в частности, роль ветровых волнений в распределении осадков на морском дне, которые, как оказалось, не могут считаться фактором, обеспечивающим, согласно прежним воззрениям, полную компенсацию прогибания осадконакоплением. Ими рассматриваются также роль различных течений и суспензионных потоков, закономерности формирования мощностей некоторых морских органогенных образований (биогермов), континентальных и вулканогенных образований; все эти процессы ведут к резко неравномерному накоплению мощностей и распределению их не в соответствии с размерами прогибания. Авторы справедливо считают, что всегда надо проанализировать генезис мощностей того или иного образования, прежде чем делать выводы о тектонических движениях.

Специальное изучение вопроса о соотношении мощностей и литологического состава отложений привело Р. Г. Гарецкого и А. Л. Яншина к выводу о том, что эти соотношения могут быть различными. Мощность может изменяться независимо от изменений литологического состава, но может быть тесно связана с этими изменениями (например, мощные прибрежные и предгорные акчагыльские отложения Южно-Каспийского бассейна, выраженные конгломератами, песчаниками, глинами и известняками, и маломощные тонкослоистые глины в центре бассейна, где господствовало прогибание). Отсюда следует, что, только зная фациальную природу сравниваемых мощностей, можно правильно использовать их в тектоническом анализе.

Изложение вопроса о значении анализа мощностей и характеристика некоторых новых аспектов в его применении показывают, что метод изопахит при применении его к выяснению тектониче-

ских движений должен уточняться в зависимости от особенностей геологического строения конкретных областей. Анализ мощностей должен применяться как одна из сторон более общего палеогеографического и палеонтологического анализа.

## ОТРАЖЕННЫЕ ГЛУБИННЫЕ ДВИЖЕНИЯ

Развитие крупных структурных форм, называемых иногда глубинными, т. е. геоантиклиналей, геосинклиналей, синеклиз, антеклиз, краевых и перикратонных прогибов, глубинных разломов и т. д., связано с длительными медленными движениями земной коры, по-видимому, аналогичными современным вековым движениям. Эти движения, восстанавливаемые на основе историко-геологического анализа развития крупных территорий, охватывают большие площади и объемы и распространяются на большие глубины. Они могут быть названы *отраженными глубинными движениями.*

С 1950 г. такого рода движения мною назывались просто глубинными, так как наименования «колебательные» как отражающие только структуру движений и «эпейрогенические» как связывающие их с континентами не подходят к определению движений, охватывающих большие ареалы на поверхности Земли, связанные с развитием крупных (или глубинных) структурных форм. Теперь в работах по геодинамике (*а она является в сущности частью* тектоники) рассматриваются движения на границе мантии и ядра, движения легкого материала по каналам сквозь мантию, конвекционные движения, связанные с гравитационной дифференциацией, обусловленные приливами твердой Земли, и другие. Все эти движения не видны; о них судят по разным косвенным данным и физико-математическим расчетам, но они, несомненно, существуют *и являются подлинно глубинными.* Только некоторые глубинные движения отражаются в движениях поверхности Земли. Их-то мы и будем называть отраженными глубинными движениями.

Природа отраженных глубинных движений не исследована, и в отношении их происхождения для каждого конкретного случая можно строить различные гипотезы. Отраженные глубинные движения, вероятно, различны по своему происхождению. Можно предполагать, что они представляют собой как бы интегральную сумму движений, вызываемых различными процессами, происходящими на различных глубинах Земли. Кроме того, отраженные глубинные движения, *хотя бы отчасти, могут иметь «объемный»* характер, т. е. вызываться гравитационными силами, связанными с особенностями движений Земли и влиянием космических факторов. Таким образом, отраженные глубинные движения являются результатом глубинных процессов.

Неправильно (хотя и принято) говорить, что развитие тектонических форм обусловливается тектоническими движениями или *что тектонические движения обусловлены* развитием тектонических форм. Оба эти явления представляют лишь две стороны одного

процесса; связь между ними не может быть охарактеризована как причинно-следственная, так как ни один из них не предшествует другому. Любое взаимное перемещение точек земной поверхности или земной коры означает изменение структуры. Причинами тектонических движений и развития тектонических форм могут быть только явления, им предшествующие. Например, вынос вулканического материала (лавы) или грязевулканической брекчии из очага влечет образование вулкано-тектонической депрессии или синклинальной вдавленности. Тектоническим движениям (развитию тектонических форм) присуща еще одна форма причинно-следственной связи, заключающаяся в механизме передачи движения от очага к более удаленным от него участкам земной коры; движение частицы, передающей движение, может рассматриваться как причина движения частицы, к которой передается движение. Этот вид причинно-следственной связи отражен в высказываниях Н. С. Шатского о тектонических движениях, вызывающих дислокации, и о тектонических движениях, являющихся следствием деформации.

Отраженным глубинным движениям могут быть противопоставлены тектонические движения, вызванные процессами, происходящими в пространстве земной коры. Такими движениями могут быть, например, сейсмогенные движения, движения, связанные с процессами, происходящими в очагах и жерлах вулканов, тектонические движения, обусловленные инверсией плотностей в пространстве земной коры (соляная тектоника), перекристаллизацией (гипсовая тектоника) и другими локальными процессами. Могут быть выделены также техногенные движения (проседание кровли над выработками, проседание вследствие откачки грунтовых вод, погружение поверхности Земли в районе больших городов).

Приведенное разделение движений имеет динамическую основу. Движения определяются по вызывающим их причинам.

На основании изучения современных движений мы вправе считать, что и тектонические движения геологического прошлого имеют сложную кинематическую характеристику. Судить о кинематике движений геологического прошлого в конкретных случаях и в деталях мы пока не имеем возможности. В лучшем случае наши суждения могут касаться вертикальной нисходящей, вертикальной восходящей и горизонтальной компоненты движения.

Вертикальные компоненты отраженных глубинных движений устанавливаются изучением разрезов с учетом мощностей, фаций и глубин бассейнов отложения осадков, слагающих разрез, а также перерывов. Анализ мощностей в совокупности с фациальным анализом является средством установления размаха и длительности вертикальных перемещений. Вертикальные восходящие и нисходящие перемещения представляют собой строго доказанные геологические явления, поскольку они фиксируются в вертикальных геологических разрезах (мощности слоев, перерывы, несогласия и т. д.).

Как правило, накопление осадков расценивается как признак нисходящих перемещений, а перерыв в отложениях и явления размыва — как признак восходящих перемещений. Такое соотношение, однако, соблюдается в самом общем виде, так как, с одной стороны, возможны случаи накопления осадков в условиях общего подъема, с другой стороны — случаи размыва в условиях погружения.

Восходящие вертикальные перемещения со временем сменяются нисходящими, а затем снова восходящими. Таким образом, получается период, часть которого соответствует восходящему, а часть — нисходящему перемещению. Согласно некоторым недостаточно обоснованным представлениям связанные с отраженными глубинными движениями вертикальные перемещения вообще являются нисходящими (в связи со сжатием Земли) и в ходе этих перемещений этапы более быстрого погружения сменяются этапами более медленного погружения или задержки.

Представления о нисходящем характере всех вертикальных перемещений, связанных с отраженными глубинными движениями, не соответствуют геологическим фактам. Так, в противоречии с этими представлениями находятся региональные перерывы, связанные с длительным и устойчивым поднятием крупных участков земной коры, а также признаки растяжения на крупных сводовых поднятиях, свидетельствующие об активных восходящих движениях.

А. П. Карпинским была отмечена важная особенность отраженных глубинных (колебательных) движений на платформах, заключающихся в их волнообразном характере; это позволило ему установить закономерные соотношения между отраженными глубинными (колебательными) движениями в различных частях платформы и смежных складчатых областях.

С глубинными тектоническими движениями тесно связаны трансгрессии и регрессии морей.

По распространению морских бассейнов в геологическом прошлом можно судить о размещении областей прогибания и областей поднятия на данном этапе геологической истории. Так именно поступал А. П. Карпинский при исследовании характера колебаний территории Европейской России; в своем тектоническим анализе он справедливо принимал очертания бассейнов за нулевые изогипсы крупных структурных форм Восточно-Европейской платформы.

Если трансгрессии и регрессии связаны с тектоническими движениями, то трансгрессия соответствует опусканию данного участка земной поверхности, а регрессия — *его поднятию*. При этом будут изменяться не только размеры морских бассейнов, но и их общая конфигурация, а возможно, и местоположение. В результате тектонических движений одни участки земной поверхности могут заливаться морем, а другие участки одновременно с этим превращаться в сушу. Однако трансгрессии, сопровождающиеся общим повсеместным расширением морских бассейнов, и регрес-

сии, сопровождающиеся повсеместным их сужением, могут быть обусловлены и эвстатическими колебаниями уровня океана.

Так, путем определения усредненных показателей футштоков всего мира, за исключением станций с послеледниковым изостатическим выравниванием, Б. Гутенберг для периода 1860—1940 гг. определил эвстатическое поднятие уровня океана в 12 см за 100 лет. Эвстатические колебания представляют собой общее изменение уровня океана в результате изменения в нем количества воды. Следовательно, при оценке трансгрессий и регрессий как признаков тектонических движений Земли следует учитывать два основных влияющих на них фактора: тектонический и эвстатический.

В отношении причин трансгрессий и регрессий среди геологов существуют различные мнения. Э. Ог дал следующее определение трансгрессий и регрессий: «Вторжение моря в местность, раньше им не занятую, называется морской трансгрессией, отступление же моря из занятой им раньше области называется морской регрессией» [Ог, 1914, с. 539]. Он считал, что трансгрессиям в геосинклиналях соответствуют регрессии на континентальных площадях и, наоборот, трансгрессиям на континентальных площадях соответствуют регрессии в геосинклиналях. Эти положения, известные в геологической литературе под названием закона Ога, были подвергнуты критике Г. Штилле. Он считал, что общая закономерность заключается в однозначности изменений площади моря как в геосинклиналях, так и во внегеосинклинальных областях; что же касается выводов Э. Ога, то они основываются на изучении портландских отложений Европы, портландский же век в этом отношении был не правилом, а исключением. Закон Ога опровергается также работами советских геологов (А. Д. Архангельский, Н. С. Шатский, Б. М. Келлер и др.).

А. Д. Архангельский пришел к заключению об однозначности движений на платформах и геосинклиналях с некоторым запаздыванием трансгрессий на платформах по сравнению с геосинклиналями.

Из высказываний Э. Ога следовало, что трансгрессии имели тектоническое происхождение, так как согласно его схеме тектонические процессы и орогенез в геосинклинальных областях как бы перекачивали воду на платформу.

Теперь же надо думать, что ведущим фактором в распространении крупных планетарного масштаба трансгрессий являются эвстатические колебания уровня океана. Тектонические же процессы, охватывающие отдельные районы континентов, обусловливают распределение и перераспределение суши и моря на этом общем фоне в пределах как платформенных, так и геосинклинальных областей. Однако эти представления вряд ли следует возводить в ранг «закона».

В процессе отраженных глубинных движений образуются глубинные тектонические формы. Их образование не только заключено в перемещениях материала вверх, вниз или в латеральных направлениях, но и сопровождается перераспределением мате-

риала, т. е. разного рода дислокациями (например, деформациями слоев). Распределение дислокаций, в частности складчатости (как геосинклинальной, так и платформенной), пространственно и генетически связано с особенностями строения и развития вмещающей более крупной (глубинной) структурной формы. Дислокации являются частным и обязательным проявлением отраженных глубинных движений. Формы связи между отраженными глубинными движениями и возникающими в их результате дислокациями могут быть различными. Дислокации обусловлены отраженными глубинными движениями и не могут рассматриваться вне временных и пространственных связей с ними. Следовательно, нельзя представить себе, что отраженные глубинные движения и формирование дислокаций чередуются во времени или же проявляются в разных областях.

Представления о дислокациях как о форме проявления отраженных глубинных движений стало возможным после проведения детальных исследований строения и истории развития крупных разнообразно построенных областей — геосинклиналей, краевых прогибов, платформенных синеклиз, межгорных впадин и т. д. До получения этих детальных данных связи между отраженными глубинными движениями и дислокациями были не всегда ясны: иногда оба эти явления выступали в геологических представлениях как независимые.

Так, Г. Штилле считал, что эпейрогенические (отраженные глубинные), создающие «ундации» (крупные формы), и орогенические (дислокационные) движения, создающие «ундуляции» (антиклинали и синклинали), обусловлены одной причиной — тангенциальным давлением. Основываясь на том, что складчатость в удаленных районах происходила почти одновременно, он полагал, что в геосинклиналях нельзя искать причину складчатости (орогенических движений, дислокаций), что не геосинклинали вызывают складчатость, а складчатость возникает в геосинклиналях благодаря импульсу извне, причем интенсивность складчатости зависит от количества накопившихся осадков, а ее направление — от особенностей, в частности, контуров бассейна. Геосинклинали, таким образом, определяли лишь морфологические особенности складчатости, создаваемой внешним импульсом. Только после работ Н. С. Шатского (1939 г.) и В. И. Попова (1963 г.), основанных на результатах детальных разведочных и промысловых наблюдений, оказалось возможным анализировать процесс формирования складок и устанавливать его зависимости от формирования вмещающих форм. Г. Штилле этой возможностью в 1909—1913 гг., естественно, не располагал. Для состояния геологической изученности Земли в начале столетия концепция Г. Штилле о соотношении орогенеза и эпейрогенеза была достаточно обоснованной. Для ее подкрепления Г. Штилле дал определенную трактовку механизма процесса. Однако две предпосылки Г. Штилле оказались ложными. Во-первых, ограниченной, а следовательно, неправильной оказалась концепция Эли де Бомона (контракционная гипотеза), на ко-

торой полностью основывался Г. Штилле; во-вторых, оказалось неправильным утверждение об одновременности складчатости в удаленных районах, так как обнаружилось, что время размыва складчатых сооружений (проявление поверхностей несогласия) связано не столько со временем проявления складчатости, сколько со временем общих поднятий и денудаций. После того как выяснилась ложность предпосылок, утратила силу основанная на них концепция. Развивавшиеся Г. Штилле представления о соотношении эпейрогенеза все же продолжали иметь широкое распространение, однако, поскольку не было предложено соответствующей новым данным трактовки механизма процесса, использование этих представлений приводило к противоречивым выводам.

Н. П. Херасков взамен «механизма внешнего импульса» выдвигает новую идею «механизма общей деформации», и поэтому ему удается последовательно выразить идею единства орогенеза и эпейрогенеза.

Из изложенных представлений о соотношении глубинных движений и дислокаций следует, что глубинные движения вызывали необратимые деформации внутри гипергенной оболочки. Утверждение Г. Штилле о том, что эпейрогенные процессы в отличие от орогенных не изменяют геологическую структуру, подверглось справедливой критике со стороны Н. М. Страхова.

Действительно, наклоны слоев и сбросы, которые сопровождают захватывающие большие площади эпейрогенические поднятия, являются необратимым изменением тектонической структуры. Н. М. Страхов утверждал, что нет движений земной коры, которые не сопровождались бы тем или иным изменением тектоники (структуры) движущихся пород, т. е. условий их залегания.

Конкретные формы связи дислокаций с отраженными глубинными движениями, безусловно, могут быть весьма различными и могут быть раскрыты путем историко-геологического анализа развития крупных вмещающих (глубинных) и осложняющих их складчатых форм. Складчатость может возникнуть и развиваться при нисходящих движениях, при восходящих и, наконец, при горизонтальных движениях.

## РЕКОНСТРУКЦИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ

Представления о безусловном преобладании вертикальной компоненты тектонических движений сейчас устарели, поскольку появились новые наблюдения и работы, свидетельствующие скорее о преобладании латеральных компонентов движений. «Вертикализм» совершенно законно вытекал из изучения вещества и практики разведки и разработки минерального сырья. В разрезах буровых скважин и шахт фиксировались вертикальные линейные разрезы, в которых были отображены состав и мощности отложений, что давало возможность реконструировать смену фациальных условий и тектонические движения в данной точке. Срав-

нение разрезов различных выработок давало в пределах разведочной площади или более крупных районов возможность лишь сопоставлять изученные разрезы и получать представления о распределении вертикальных движений по площади. Таким путем составлялись карты вертикальной компоненты тектонических движений (карты изопахит, фаций и т. д.) по профильным разрезам и площадям отдельных месторождений и крупных областей (Восточно-Европейская платформа, Большой Кавказ). Развитие геологической науки и практики на протяжении последних 25—35 лет привело к совершенно новой ситуации. Во-первых, стали появляться новые, частью ранее известные, но забытые факты, свидетельствующие о значительных горизонтальных перемещениях (тектоническая расслоенность литосферы), значительное развитие надвигов и шарьяжей, явное преобладание горизонтальных компонент в современных движениях, различные физические расчеты, в частности, основанные на приливно-отливных движениях. Во-вторых, увеличились трудности в поисках полезных ископаемых. Если вертикальные разрезы и реконструкции вертикальных движений сыграли значительную роль в поисках полезных ископаемых, то сейчас не меньшую роль в расширении минерально-сырьевой базы смогут играть реконструкции горизонтальных движений. Однако методика таких исследований пока недостаточно разработана. Качественные признаки горизонтальных перемещений несомненны, но проблемы их метрики совершенно не разработаны, тогда как только введение метрики может составить основу конкретных расчетов при поисках и разведке. Надо настойчиво искать пути выяснения количественных параметров горизонтальных движений. В этом направлении должна быть решительно ориентирована теоретическая мысль. Думается, что круг геологических проблем, которые должны и могут быть вовлечены в эти исследования, может быть весьма широк, и ничем пренебрегать нельзя. С этих позиций надо изучать геологические тела и структуры, изменение состава геологических тел, проводить генетические и историко-геологические реконструкции. Среди средств, за которые можно на первых порах «зацепиться», может быть использование того же анализа мощностей и фаций с выяснением таких мощностных и фациальных изменений, которые способны дать информацию о горизонтальных движениях.

Горизонтальные компоненты глубинных движений не могут оцениваться с такой уверенностью, как вертикальные компоненты, реконструкция которых может быть основана на анализе разрезов слоистых толщ, входящих в состав гипергенной оболочки Земли. Однако результаты, полученные при исследовании крупных сдвиговых нарушений шарьяжей, надвиговых зон, дают возможность утверждать, что роль горизонтальных перемещений в формировании структуры гипергенной оболочки была весьма значительной. Другими словами, горизонтальные компоненты глубинных движений играют, по-видимому, не меньшую роль, чем вертикальные компоненты.

Помимо данных исследований перемещений по крупным сдвигам, существуют и иные доказательства горизонтальных перемещений. Так, на основании анализа явлений трещиноватости в горизонтально лежащих толщах предполагается связь такой трещиноватости с горизонтальными сдвигами в земной коре. При этом считают, что явления изменения формы отдельных участков земной поверхности под влиянием действующих в ее плоскости вращательных стрессов гораздо больше распространены в природе, чем предполагают обычно. К. Г. Войновский-Кригер отмечал, что эти силы и движения не оставляют (в отличие от движений по вертикали) следов в геоморфологии и в напластовании; они вносят изменения лишь в плане.

О значительной горизонтальной компоненте движений говорят исследования смещений по разломам в очагах землетрясений. В изученных землетрясениях Северной и Южной Америки преобладало скольжение по простиранию разрывов. Следует отметить, что данные о «сокращениях поверхности» в складчатых областях, которые часто принимаются за доказательства горизонтального сжатия участка земной коры, на самом деле не могут служить таким доказательством. Действительно, в процессе складкообразования может иметь место не только сокращение поверхностного слоя, но и его растягивание, или предшествующее сокращению, или одновременное с ним. Поэтому цифры А. Гейма по Альпам (сокращение от четырех до восьми раз), Б. Уиллиса по Аппалачам (сокращение со 115 км до 30 км и с 160 км до 56 км), а также П. И. Степанова по Донбассу (сокращение с 72 км до 61 км) не могут служить достаточным подтверждением соответствующего горизонтального стяжения земной поверхности во всех этих случаях.

Особенно важно подчеркнуть значение горизонтальных перемещений, поскольку в некоторых тектонических работах их роль недооценивается. Например, В. В. Белоусов вторичные движения, к каким он относит складчатые и разрывные, связывает исключительно с медленными вертикальными или так называемыми колебательными движениями земной коры.

---

Следует обратить внимание на смещение сводов складок с глубиной как на возможный индикатор горизонтальных перемещений, на срезания дайковых тел по субгоризонтальным плоскостям (это наблюдается в палеогене Восточно-Европейской платформы и других районах), сдвиги, сбросы, надвиги и шарьяжи с рассмотрением их развития во времени. Опыт такой уже есть, но значение его в исследовании горизонтальных движений еще никак не подчеркивалось. Речь идет о конседиментационных сбросах на нефтяных месторождениях Туркмении, Эмбенских соляных куполах и т. д. По разностям мощностей отдельных стратиграфических горизонтов по обе стороны от дизъюнктива можно восстановить ход перемещения по нему во времени. А ведь это перемещение имеет как вертикальную, так и горизонтальную составляющую. На этом

примере можно наметить путь к исследованию горизонтальных перемещений с введением метрики. Важным инструментом в реконструкции горизонтальных движений могут стать палинспастические карты, если в их основу ввести фактический материал и достаточно строгий метрический аппарат.

В отношении исследований горизонтальных движений геологического прошлого пока не существует конкретных метрических разработок. Вопрос этот только поставлен в связи с исследованиями в свете гипотезы плитной тектоники. Он открывает широкий путь для решения вопроса о новых путях поисков полезных ископаемых.

## О ТЕРМИНОЛОГИИ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ

Тектонические движения можно различать по кинематическим и динамическим признакам. Кинематические признаки определяются траекториями и скоростями. Выше уже отмечалось, что тектонические движения в общем обладают сложными траекториями. Можно представить движения вертикальные, восходящие, нисходящие, горизонтальные, колебательные и волновые, а также медленные, быстрые, непрерывные, прерывистые, ритмичные и т. д. Все эти термины отражают некоторые кинематические особенности движений и имеют право на существование в тех случаях, когда соответствующими измерениями или анализом отложений (их структуры и состава) выяснено существенное преобладание той или иной компоненты движения или установлены его темп и ритмичность. На примере современных движений, которые только и доступны непосредственным измерениям, было показано, что удовлетворительно может быть изучена вертикальная компонента, реже горизонтальная, что движения точек земной поверхности сравнивают, как правило, по одной лишь вертикальной компоненте.

Представляется, что для движений геологического прошлого о таких свойствах, как непрерывность, прерывистость, ритмичность, можно говорить, только пользуясь очень грубыми допущениями о прямой связи осадконакопления с тектоническими движениями. Действительно, такие явления, как непрерывность, прерывистость и ритмичность разреза, могут стоять в связи с климатическими явлениями, с эвстатическими колебаниями, а также с тектоническими движениями, происходящими вне района седиментации. Очевидно, существование некоторых из перечисленных кинематических типов движений нельзя вообще доказать для геологического прошлого.

Опыт разделения тектонических движений по динамическому признаку был приведен в предыдущем разделе. Это разделение было весьма неполным вследствие неизученности глубинных процессов, обусловливающих тектонические движения. Часто выделяют движения, связываемые с различными гипотетическими процессами (например, гляциоизостазия). Существует попытка разделять тектонические движения по глубинам, на которых прете-

кают эти гипотетические процессы. При этом исходят из допущения, что размеры структурных форм гипергенной оболочки соответствуют глубинам зарождения движений. Получается, что синеклизы и антеклизы, имеющие в поперечнике 500—1000 км, связаны с более глубокими очагами движений, нежели геосинклинали и геоантиклинали шириной 50—100 км. Одну из наиболее интересных классификаций тектонических движений по динамическому признаку предложил в 1956 г. Н. С. Шатский. Он выделил пять типов движений: 1) субсидентные движения (оседания), вызванные изменениями вещества Земли в глубоких оболочках, ведущими к уплотнению вещества; 2) эмерсионные движения (поднятия), связанные с неизученными глубинными процессами; как пример результатов эмерсионных движений рассматриваются поднятия Центральной Азии; эти движения не связаны с предшествующими прогибаниями геосинклинального типа, они развиваются в новых контурах; это обстоятельство доказывает самостоятельность эмерсионных движений, независимость их от субсидентных, обусловленность обоих этих типов различными процессами; 3) квазиупругие движения (например, гляциоизостазия); 4) ундационные движения — поднятия и опускания сопряженных антиклинориев и синклинориев, геосинклиналей и геоантиклиналей и т. д.; эти движения проявляются при накоплении больших мощностей осадков; 5) складки, связанные в основном с гравитационным скольжением. Хотя некоторые из терминов Н. С. Шатского имеют явно «кинематический» облик, в основу разделения движений им были положены представления (часто весьма неясные) о процессах, вызывающих эти движения. В 1958 г. эта классификация была Н. С. Шатским несколько упрощена — он выделял движения оседания, движения поднятия и движения колебания (аналогично субсидентным, эмерсионным и ундационным).

Весьма распространен подход, заключающийся в разделении и наименовании тектонических движений по результату, к которому они привели. В качестве примера можно привести термин и понятие «горообразовательные движения». Горы могут образоваться в результате горообразовательных движений, могут быть результатом вертикальных восходящих движений, горизонтальных движений, они могут быть результатом колебательных, волнообразных, непрерывных, прерывистых, медленных и быстрых движений. Движения, образующие горы, могут быть вызваны разнообразными глубинными процессами и процессами разной глубинности. Следовательно, понятие «горообразовательного движения» не определяет ни кинематических, ни динамических особенностей движения. Термин «горообразовательные движения» может обозначать либо совокупность процессов, ведущих к образованию гор, либо категорию (класс) движений, если предполагается, что образование гор связано с движением, имеющим какую-либо определенную кинематическую характеристику. Так, одно время считалось, что образование гор связано с тангенциальными (горизонтальными) движениями (Эли де Бомон, Э. Зюсс), затем

высказывались предположения, что горы связаны исключительно с вертикальными восходящими движениями (макроколебания М. М. Тетяева). В этих двух случаях под горообразовательными движениями следует подразумевать движения с различными кинематическими характеристиками.

Сделанные замечания касаются и других определений тектонических движений по их результатам (например, эпейрогенез, *тафрогенез и т. д.*).

В понятия эпейрогенеза и орогенеза, введенные в 1890 г. на основании исследований в Скалистых горах их автором Г. Гилбертом, вкладывался определенный кинематический смысл. Под эпейрогеническими движениями Г. Гилберт понимал движения широкого охвата *как восходящие, так и нисходящие*, создающие континенты, континентальные и океанические бассейны. Орогенез по Гилберту — это поднятие более узких «географических волн», т. е. горных форм.

Эти же термины как обозначающие процессы были приняты Г. Штилле в таком смысле: *эпейрогенез — это движения широкого* охвата, вековые и не изменяющие структуру, орогенез (гилбертовское толкование этого термина Г. Штилле отвергал) — движения, создающие дислокации (изменяющие структуру), эпизодические. Складки и надвиги Г. Штилле считал эпизодическими проявлениями (в то время не было еще данных о длительном развитии этих структурных форм). Свои представления об орогенезе Г. Штилле формирует в виде шести законов: 1) одновременности орогенеза, 2) одновременности орогенных форм (в одну и ту же фазу могут образоваться все виды орогенных форм), 3) связи орогенных форм (одновременно образующиеся орогенные формы образуют непрерывный ряд), 4) восходящего орогенического движения (орогенез происходит при восходящем движении), 5) единства орогенных сил (боковое давление, имеющее глобальный характер), 6) обусловленности орогенных форм (тип складчатости определяется складчатостью основания).

Указывая на отдельные случаи, когда эпейрогенез и орогенез тесно переплетаются и трудно разделимы, когда процессы по типу стоят на границе орогенеза и эпейрогенеза, но происходят во время орогенических фаз (например, образование глыбовых гор), Г. Штилле (1920, 1964 г.) для обозначения этих процессов предлагает термин «синорогенез». Процессы орогенического типа в эпейрогенические периоды (дислокации особо подвижных толщ, соляная тектоника) Г. Штилле именует синэпейрогенезом. Он считает, что закон времени орогенеза применим лишь условно к глубоко залегающим и весьма подвижным зонам Земли, а к еще более глубоким зонам он вообще неприменим.

В классификации движений М. М. Тетяева, выделявшего колебательную, складчатую и магматическую формы геотектогенеза и сбросовую форму колебательных движений, и в аналогичной классификации В. В. Белоусова, выделявшего колебательный, складчатый, разрывный и магматический типы движения, разные классы

выделены по различным признакам — первый по кинематическому, второй и третий — по результатам процесса, четвертый — по результатам и характеру процесса. Такой разнобой признаков делает классы несопоставимыми и пересекающимися. Например, колебательный по своей кинематической характеристике тип движений может привести к разрывным дислокациям. Одни и те же движения и процессы одновременно приводят как к образованию складок, так и к образованию разрывов; следовательно, данная классификация не совершенна. Под колебательными движениями В. В. Белоусов понимает вертикальные движения земной коры, заключающиеся в ее поднятиях и опусканиях. Складчатые движения в понимании В. В. Белоусова — это пластическая деформация земной коры, приводящая к смятию слоев в складки. Разрывные движения участвуют в образовании трещин и разрывов, по которым может произойти относительное смещение участков земной коры, но может и не произойти; магматические движения — в перемещении расплавленных масс сквозь земную кору.

Недостатком классификации В. В. Белоусова 1948 г. является изолированное рассмотрение типов движений, выделенных при этом искусственно. Так, например, складчатость и колебательные движения представляют собой якобы самостоятельные независимые типы движений. Колебательные движения повсеместны и постоянны, складчатость же образуется лишь в некоторые эпохи и каждый раз на сравнительно ограниченной территории. Тектонические разрывы, которые всегда генетически связаны с плавными формами движений, в классификации В. В. Белоусова изолируются и выделяются в самостоятельный тип, который как будто может существовать независимо от складчатости. Горизонтальные крупного масштаба движения земной коры в классификации вообще игнорируются.

В. В. Белоусов в 1954 г. исключил из своей классификации «магматические движения», не устранив, однако, других ее недостатков. Хотя В. В. Белоусов и указывал, что тектонические движения развиваются совместно в закономерных сочетаниях и правильной последовательности и что тектонический режим находит выражение в совокупности различных форм тектонических преобразований, он тем не менее рассматривал каждый тип тектонических движений в отдельности. Тектонические движения, по В. В. Белоусову,— это не единый процесс, проявляющийся в деформации земной коры, а лишь сочетание различных типов движений.

Своеобразно понимал орогенические и эпейрогенические движения М. В. Муратов, который рассматривал их как вертикальные колебательные движения двух различных видов: первые вызывают образование геоантиклиналей и геосинклиналей, вторые — образование синеклиз и антеклиз. Таким образом, термин «орогенез» в понимании М. В. Муратова не включает складкообразования, а орогенез и эпейрогенез разграничиваются в пространстве.

М. В. Муратов говорил также о третьей категории колебательных движений, охватывающих одновременно геосинклинальные и платформенные области. Соотношения между колебательными движениями третьего типа и первых двух типов остались в изложении М. В. Муратова неясными.

Классификация движений, предложенная М. В. Муратовым в 1949 г., близка к той предварительной классификации движений, которая была изложена еще в 1939 г. Н. С. Шатским и включала движения следующих типов:

1) эпейрогенические движения (в узком смысле слова), захватывающие огромные сегменты Земли, объединяющие как платформы, так и геосинклинали или части их;

2) движения, создавшие на платформах плоские прогибы типа синеклиз и плоские поднятия;

3) движения орогенические (в узком смысле слова), с которыми связано образование частных геосинклинальных прогибов и поднятий в геосинклинальных зонах;

4) движения складкообразовательные, усложняющие структуры орогенического типа.

Помимо указанных здесь типов движений, в геологической литературе можно встретить выделение иных типов, соответствующих более или менее частным или искусственно выделяемым случаям.

Л. Кобер называет океаногенезом или талассогенезом движения, приводящие к образованию океанических впадин. А. Вегенер именует движения, заключающиеся в горизонтальном перемещении материков, эпейрофорезом. Движения, приводящие к образованию крупных грабенов типа африканских разломов, Э. Кренкель называет тафрогенезом и т. д.

## О ТЕМПЕ И ПЕРИОДИЧНОСТИ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ПРОШЛОГО

Изучение осадочной толщи позволяет восстановить знак вертикальной компоненты движений, но, как правило, не дает однозначного решения вопроса о темпе движений геологического прошлого и их периодичности. Вспомним, что накопление слоя можно истолковать или как быстрый, или как медленный процесс, или как процесс, сопряженный с тектоническими движениями или независимый от них, что ритмичность разреза можно связать с тектоническими причинами или с явлениями, независимыми от тектонических движений. Эта «свобода» выбора вариантов истолкования разреза ведет к возможности на основе одних и тех же данных выработать разнообразные и противоречивые представления о темпе и периодичности тектонических движений.

До сих пор очень широко распространены представления, разграничивающие во времени глубинные движения и их дислокационные результаты или, иными словами, эпейрогенические и складкообразующие движения.

Так, Г. Штилле писал о тектонической эволюции Земли (седиментация, эпейрогенез) и об эпизодических процессах, прерывающих эволюцию и приводящих к полному перевороту условий, т. е. о тектонической революции Земли. К ней Г. Штилле относил складчатость, которая в его представлении сводилась к кратковременным эпизодам. Так, по его мнению, история Земли слагается из длительных эпейрогенических периодов и коротких (катастрофических) орогенических (складкообразовательных) фаз. Орогенические катастрофы не обусловливаются предыдущим ходом развития геологических структур, а являются самостоятельными эпизодами. Г. Штилле разработал «канон орогенических фаз», включающий 30 фаз, обязательных для всего земного шара.

Согласно Г. Штилле [1964, с. 78], «всякая настоящая складчатость, в том числе складчатость сбросово-складчатых и глыбовых гор, протекала в относительно немногие и узко ограниченные во времени фазы, имевшие глобальное распространение». Введенное в 1923 г. Г. Штилле понятие синэпейрогенеза представляет первую серьезную брешь в его каноне, поскольку этим самым признается возможность развития орогенических (дислокационных) процессов в анорогенные периоды. Вторая серьезная брешь в каноне Штилле появилась в связи с его работой о современном тектоническом состоянии Земли. Ранее Г. Штилле считал современную эпоху анорогенной. Наблюдения в Калифорнии (сброс Сан-Андреас и др.) склонили его к мысли, что современная эпоха приходится на фазу орогенеза, длительность которой оценивается в 250—300 тыс. лет; нынешнее же время приходится на катастрофический период в эпоху его затухания.

В этих представлениях фаза уже приобретает значительную длительность и определенную «структуру», слагаясь из главного акта и затухания (завершающего акта).

Если сам Г. Штилле вводит в свое понимание орогенических фаз ряд оговорок, то его последователи часто принимают канон орогенических фаз безоговорочно. Такое ортодоксальное признание штиллевских фаз приводило к тому, что в ряде случаев вместо конкретного изучения перерывов и несогласий и выяснения их подлинного геологического содержания они приспособлялись к канону Штилле, подводились под рубрику соответствующей фазы мирового значения. В результате вместо выяснения путем анализа конкретных структурных форм, особенностей их роста и соотношений с другими структурными формами образование складчатости объяснялось орогеническими фазами. Такого рода тектонические исследования не способствовали расширению и углублению научных представлений о генезисе геологических структур, а, наоборот, вели к искажению действительных природных соотношений.

«Канон орогенических фаз» находил поддержку в работах В. В. Белоусова (1948 г.). Продолжительность одной фазы он исчислял сотнями тысяч лет, отмечая, что этот промежуток фиксируется в земной коре как мгновенный акт. В качестве доказатель-

ства «мгновенности» фаз В. В. Белоусов приводил примеры, в которых угловое несогласие было связано с очень коротким стратиграфическим перерывом.

Еще в 1934 г. Н. Б. Вассоевич, принимавший тогда «орогенное правило» (а не закон) Штилле, тем не менее пришел к следующим выводам, по существу находящимся в резком противоречии с «законами» Штилле:

1) нельзя считать, что орогенез проявляется на всем земном шаре одновременно в одни и те же относительно мелкие единицы геологического летоисчисления и при этом с более или менее одинаковой силой (в одних областях проявляется сильней одна фаза, в других — другая; местами же фазы и совсем не проявляются);

2) нельзя считать, что фазы протекают геологически мгновенно и всегда на рубеже веков (горизонтов); гораздо естественней думать, что структурные дислокации (например, складкообразование) захватывают также и определенные и порой длительные интервалы времени;

3) нельзя считать, что число орогенических фаз ограничено; так, на Кавказе «фазы» обнаруживаются почти между всеми горизонтами неогена, как мэотис, понт, киммерий, акчагыл, апшерон и т. д., и их начинают находить уже внутри горизонтов.

Штиллевское понимание орогенических фаз подверглось наиболее последовательной критике со стороны Н. С. Шатского, впервые отчетливо сформулировавшего представления о длительности процесса складкообразования.

Так, Н. С. Шатским было показано, что угловые несогласия не свидетельствуют о катастрофических фазах складчатости. Несогласия или орогенические фазы представляют не новые и определенные моменты складчатости, а лишь отдельные кадры, если можно так сказать, выхваченные эпейрогеническими движениями из медленно и непрерывно изменяющегося процесса складкообразования. Далее им было установлено, что складкообразование, так же как и эпейрогенические движения, представляют явление длительное, медленно развивающееся и соизмеримое по скорости с осадконакоплением. Орогенез и эпейрогенез одновременны и тесно связаны друг с другом; между типичными орогеническими и эпейрогеническими движениями существуют переходы. В тектонических движениях следует различать не две категории, а большой ряд движений, переходящих друг в друга по простиранию и по вертикали.

Такая постановка вопроса о медленности орогенеза (складкообразования) и о единстве эпейрогенеза и орогенеза дала толчок к переходу от изучения складчатых структур главным образом с точки зрения геометрической формы изгибов слоев к более полному изучению, включая изменения мощностей и литологического состава, что сыграло большую роль в практике геологоразведочных работ и поисков полезных ископаемых. Новое представление побудило также изучать перерывы и несогласия как документы геологического развития конкретных структурных форм,

а не видеть в них лишь свидетельства проявления орогенических фаз. Однако эти новые представления вначале привели к другой крайности — к отрицанию скачков и признанию во всех случаях спокойного, плавного хода тектонических движений, не сопровождаемого качественной перестройкой структуры. Идеи Н. С. Шатского развивались В. И. Поповым на примере Средней Азии, Н. Н. Ростовцевым на примере Дагестана, Я. Н. Белевцевым на примере Криворожского бассейна, В. Е. Хаиным на примере Малого Кавказа, С. А. Захаровым на примере Таджикистана и многими другими.

Постановка вопроса о фазах складчатости (не как о катастрофах, а как об усилениях непрерывного тектонического процесса, как о скачках в этом направленном процессе) стала возможной благодаря работам советских геологов, доказавшим непрерывность складкообразования и его одновременное развитие с осадконакоплением. Установление этого важного факта совершенно не означает, что процесс складкообразования является только непрерывным и спокойно эволюционирующим. Этот процесс, несомненно, полон внутренних противоречий, разрешающихся скачкообразными качественными изменениями. Установление непрерывности складкообразования имеет большое принципиальное и методическое значение: оно позволяет отказаться от признания мгновенных и всемирных тектонических фаз и дает возможность геологу использовать метод научного исследования непрерывно-прерывистого процесса тектогенеза путем анализа изменения слоев осадочных пород в связи с образуемыми ими структурами.

Установление непрерывности складкообразования позволило по-новому подойти к вопросу о тектонических фазах и рассматривать их как сложный и длительный геологический процесс. Высказывались мнения, что периоды относительного ослабления тектонических движений Земли чередуются с периодами усиления тектонической активности (тектонические фазы). Однако тектоническим фазам, как правило, приписывались геологически измеримая длительность, а сами фазы понимались не как катастрофы, по существу не связанные с историей развития Земли, а как сложно построенные этапы усиленного тектонического развития и качественной перестройки структуры.

Остановимся на представлениях о тектонических фазах, развивавшихся Н. М. Страховым, М. А. Усовым, Н. С. Шатским и С. Н. Бубновым.

Н. М. Страхов, называя «орогенической фазой» складкообразовательные движения, зафиксированные угловым несогласием, признавал за фазами измеримую геологическую длительность и рассматривал фазу как «цепь» отдельных толчков, мелких подвижек, «скачков» типа тех перемещений, какие сопровождают каждое современное землетрясение. Такое представление о тектонической («орогенической») фазе неполно, так как в нем не учитывается одновременность складкообразования и осадкооб-

разования и фазы опять же приурочиваются только к угловым несогласиям.

М. А. Усов приводил иные, более сложные по сравнению с высказываниями Н. М. Страхова представления о фазах тектогенеза. По М. А. Усову, «цикл» тектогенеза (без возвращения к исходному положению, но с развитием по спирали) состоит из длительного эволюционного периода, заканчивающегося складчатостью, которая определяет основную структуру и тектонику земной коры. Эволюционный период не всегда спокоен; он прерывается небольшими революционными вспышками складчатости или эпохами эффузивного вулканизма.

Фаза тектогенеза, по М. А. Усову, состоит из этапа сжатия, когда образуется складчатость, и этапа расширения, сопровождающегося поднятиями крупных зон поверхности с параллельными обрушениями и вулканическими процессами. Фаза тектогенеза рисуется М. А. Усовым как длительный процесс, например, этап расширения альпийского цикла тектогенеза в его представлении захватил четвертичный период и не закончился к настоящему времени.

Мысль М. А. Усова о длительности и сложности строения тектонических фаз по существу правильна, но сами представления о фазах остаются гипотетическими, так как они не основаны на анализе развития конкретных структурных форм. Схематичность представлений М. А. Усова тесно связана с признанием им повсеместности проявления одновременных тектонических фаз, что опровергается анализом геологического развития крупных территорий.

Н. С. Шатским (1951 г.) дано новое, более совершенное толкование понятия тектонической или орогенической фазы. Под тектонической фазой он понимал весьма длительные движения, изменяющие и усложняющие геологическую структуру, причем длительное нарушение интенсивности складчатости приводит к быстрому качественному изменению структуры. Само складкообразование представляет длительный, изменчивый процесс. Время усиления складкообразования представляет собой лишь время убыстрения процесса, а не является каким-либо особым моментом складчатости, связанным с движениями, отличными по своей природе от движений в периоды умеренного роста складок. Узловыми моментами в развитии складчатых структур Н. С. Шатский считает времена резких качественных изменений структуры, а не фазы усиления движений. Складкообразование, по Н. С. Шатскому, совершается все время, то усиливаясь, то ослабевая, то распространяясь на большие пространства коры, то сосредоточиваясь в узких пределах.

Перерывы, в том числе региональные перерывы, сопровождающиеся несогласием, как считал Н. С. Шатский, не имеют какого-либо особого значения в развитии процесса складкообразования даже в том случае, если в это время можно доказать убыстрение складкообразования. Качественные изменения в развитии склад-

чатой структуры, по Н. С. Шатскому, наступают вследствие изменений механических условий деформации.

По С. Н. Бубнову, тектоническая фаза должна пониматься как довольно длительное явление. Он ссылается на изучение карбона Нижнесилезского бассейна, где на границе вестфальского и стефанского ярусов была установлена астурийская фаза. Однако угловое несогласие имеется не везде; несогласие наиболее заметно на краях бассейна, а в центре бассейна только смена сланцев грубозернистыми отложениями указывает на изменение режима. Другими данными устанавливается, что эта фаза длилась более 1 млн. лет и была одновременной даже в пределах одного бассейна. Фазу С. Н. Бубнов рассматривает не как единичный толчок, а как активный эпизод в развитии Земли. Орогенический толчок, по С. Н. Бубнову, происходит при разрядке напряжений. Деформация в прочных и хрупких телах происходит позже и проявляется прерывисто, в более пластичных начинается раньше и может существовать дольше. Поэтому фаза точного временного значения не имеет и иметь не может.

Хотя представления о тектонических формах формируются, уточняются и совершенствуются, тем не менее еще очень мало исследован процесс складкообразования во времени в его конкретном виде. Устанавливая, что фаза является усилением тектонических процессов или качественной перестройки структуры, мы тем самым даем лишь понятие о фазе, не вскрывая, однако, его конкретного содержания.

Если развитие малых форм определяется развитием крупных, то естественно, что неравномерный и прерывистый характер глубинных движений, осложненных ускорениями и замедлениями, остановками, а также, возможно, временной переменой знака находит отражение в ходе и темпе формирования складчатости.

Представления о повсеместном (планетарном) распространении тектонических фаз не были основаны на строгом анализе фактов, а являлись, по существу умозрительными. Накопленный к настоящему времени материал позволяет считать, что складкообразование проявлялось в региональном масштабе в зависимости от условий развития крупных структурных элементов, а не имело общепланетного распространения. Это хорошо увязывается с данными о неоднородности строения гипергенной оболочки.

М. К. Коровин установил, что выделенные М. А. Усовым в Западной Сибири и распространенные на весь земной шар фазы в действительности имеют лишь региональное значение. М. К. Коровин указывал, что М. А. Усовым геотектонической шкале местного значения без необходимого исчерпывающего фактического материала присвоено всеобщее значение, исходя только из умозрительных соображений.

Вместе с тем М. К. Коровин признает всеобщность крупных геотектонических циклов — альпийского, тихоокеанского, варисцийского, каледонского, салаирского и др. Им принимается, в частности, повсеместность салаирского цикла, наиболее хорошо про-

являющегося в Западной и Восточной Сибири. В подтверждение он приводит следующие факты: 1) наличие соленосной толщи в верхнем кембрии Северного Индостана и красноцветной толщи в верхнем кембрии Гималаев, 2) отсутствие верхнего кембрия на Южном Урале и Новой Земле, 3) отсутствие верхнего кембрия в Богемском массиве и испанской Мезетте, 4) перерывы в отложениях и несогласия в разрезах кембрия Великобритании и Скандинавии, 5) перерывы и несогласия в разрезах кембрия в Аппалачах.

Размеры областей, в которых развитие в пределах геотектонического цикла идет одинаково (в смысле единства фаз), могут быть очень невелики (например, Донбасс, северная или южная зона Кузнецкого Алатау, Кузбасс и др.).

Таким образом, нельзя считать доказанным повсеместность и одновременность проявления даже такой крупной единицы, как геотектонический цикл. Действительно, приводимые М. К. Коровиным доводы в пользу всемирного значения салаирского цикла говорят только о наличии тектонических движений в кембрии в разных частях света, что можно было бы доказать для любого другого периода, но не позволяют проследить салаирский цикл как таковой (т. е. определенный законченный тектонический этап) *где-либо за пределами Азии.*

А. Д. Архангельский, проанализировавший геологическую историю СССР, пришел к заключению о неприемлемости идей Г. Штилле. Наиболее важным тектоническим выводом, вытекающим из геологии СССР, А. Д. Архангельский считал утверждение, что тектонические циклы с их колебательными движениями, влекущие за собой трансгрессии и регрессии, с их складчатостью, интрузиями и т. д. распространяются не на всю земную поверхность, но ограничиваются определенными крупными участками земной коры.

Такая локализация тектонических циклов может быть связана с неоднородностью строения Земли на значительную глубину.

Представления А. Д. Архангельского о неповсеместности распространения крупнейших тектонических циклов значительно развиты Н. С. Шатским и А. Л. Яншиным. А. Л. Яншин на основе анализа составленной под его редакцией «Тектонической карты Евразии», во-первых, приходит к заключению, что формирование складчатых сооружений, относимых к каледонидам, герцинидам и альпидам, было гораздо более длительным чем предполагал выделивший эти эпохи складчатости Марсель Бертран, и хронологические границы между эпохами складчатости являются условными. Складчатые и горообразовательные движения в некоторых зонах каледонид еще продолжались, когда в других областях уже началось формирование наиболее ранних сооружений, относимых к герцинидам. Во-вторых, им указывается также на возможность постепенного перехода по простиранию складчатой зоны одного возраста в складчатую зону другого возраста, причем постепенно меняется возраст однотипных геосинклинальных формаций,

а в ряде случаев также время окончания вулканической деятельности, возраст главного гранитного плутонизма и время формирования компенсационных краевых прогибов. Наконец, в-третьих, А. Л. Яншин приходит к выводу о резком несовпадении хронологии тектонических процессов в Тихоокеанском сегменте земной коры и в более западных областях.

---

Вопрос о темпе и периодичности тектонических движений представляется в тектонике одним из наименее определенных. Возможность неоднозначного «динамического» истолкования геологического разреза ведет к обилию решений и к их противоречивости. Возникает вопрос о целесообразности разработки соответствующих представлений и проведения дискуссий о тектонических движениях. Думается, однако, что такой скептический подход был бы в корне неправильным. Действительно, высказывание о повсеместных и катастрофических орогенических фазах, имело, в частности, структурное значение. Это высказывание можно рассматривать как рабочую гипотезу, представляющую собой попытку упорядочить представления о строении гипергенной оболочки, а именно о распространении несогласий и границ структурных ярусов. Если эта гипотеза неверна или справедлива только в очень ограниченном смысле (для отдельных районов при признании длительности и сложности фаз»), то тем не менее она, как и всякая рабочая гипотеза, оказалась полезной в ходе исследований. Она определенным образом ориентировала поиски новых закономерностей в строении гипергенной оболочки. То же можно сказать относительно концепции А. Д. Архангельского, Н. С. Шатского и А. Л. Яншина об асимметричном развитии циклов складчатости. Эта гипотеза имеет структурное содержание и упорядочивает представление о структуре гипергенной оболочки, а именно о развитии и строении ее генеральных Атлантического и Тихоокеанского сегментов. Эта гипотеза также ориентирует научную мысль на поиски дальнейших закономерностей. Поэтому, думается, надо приветствовать как работы по усовершенствованию методики «динамического» истолкования геологических разрезов, так и широкие дискуссии о природе и истории тектонических движений.

Открытие глубокофокусных землетрясений, накопление данных, о подвижности раздела М, о фазовых изменениях вещества, исследование магнитного поля, установление широкого распространения разломов и их исследования в связи с магматизмом, изучение квазиупругих поднятий щитов и т. д. показали, что тектонические движения и наблюдаемые на поверхности Земли крупные структурные формы в основном связаны с процессами, протекающими на больших глубинах. Поэтому поверхностные части Земли (гипергенную оболочку, земную кору) и ее глубинные части следует рассматривать в связи друг с другом, поскольку речь идет об их тектоническом развитии.

Связь между поверхностными движениями, структурами и глубинными процессами надо понимать не только как обусловленность первых вторыми, но и как обусловленность тех и других общими причинами. Следует считаться также с возможной взаимосвязью между поверхностными структурами и глубинными процессами. Правильно, писал В. А. Апродов, что новейшие структуры, порожденные механическими движениями мантии и земной коры в результате развития вещества, сами становятся причиной дальнейшего направленного развития этого вещества. Действительно, давление горных сооружений и даже столба океанической воды, по-видимому, способно приводить к преобразованию вещества в недрах гипергенной оболочки.

Изолированное рассмотрение земной коры, нашедшее отражение в гипотезе плавания материков Вегенера, в некоторых вариантах контракционной гипотезы и гипотезы изостазии было несколько десятилетий тому назад настолько привычным, что самый факт наличия глубоких очагов землетрясений как доказательство твердого состояния Земли на больших глубинах брался под сомнение лишь на том основании, что этот факт находился в противоречии с укоренившимися гипотетическими представлениями.

Несостоятельными являются также представления М. М. Тетяева, согласно которым геотектонический процесс определяется развитием космического вещества внутри Земли, временно изолированного от внешнего пространства. Современные исследования все больше и больше убеждают нас в том, что в геотектоническом процессе важная роль принадлежит внешним космическим воздействиям на Землю.

О влиянии космических факторов на структуру Земли говорит также закономерная ориентировка крупных глубинных разломов и сдвигов относительно ее фигуры. Пароксизмы перемещений по этим разломам могут быть поставлены в функциональную зависимость от периодических деформаций земного сфероида вследствие изменения скорости вращения Земли.

Часто ставится вопрос о том, являются ли причины тектонических движений локальными или глобальными. Думается, что такая постановка вопроса в принципе неправильна. Глобальные причины способны создавать локальные и разновременные проявления, распределение которых обусловливается неоднородностью строения Земли. Локальные же проявления могут быть связаны с локальными причинами, а эти последние могут находиться в зависимости от более общих причин, имеющих глобальное значение. Признание того, что в основе тектонических движений вообще лежат только всемирные причины, было тесно связано с несостоятельной концепцией об одновременности и повсеместности проявления орогенических фаз.

Рассмотрим в связи с этим с философских позиций вопрос о связи структурообразующих процессов в коре с движениями в мантии.

Выделим три вопроса: во-первых, о структурообразующих

процессах в коре, во-вторых, о движениях в мантии и, в-третьих, о путях и возможностях установления связей между первыми и вторыми.

1. Решение вопроса о структурообразующих процессах в коре осуществляется непосредственным изучением горных пород, их залеганий и дислокаций, использованием принципов *механики* (распределение напряжений, физические и реологические свойства горных пород, предполагаемые механизмы, проверка этих предполагаемых механизмов по непротиворчивости их законам механики) и *актуализма* (современные движения, приложение данных *об измеряемых* реологических свойствах новейших неуплотненных горных пород и осадков к *предполагаемым* по распространенной аналогии свойствам древних пород). При подобного рода заключениях по аналогии надо принимать во внимание экспериментальные данные по прочности горных пород, их реологическим свойствам, возможным химическим реакциям в них, минералообразованию, изменению минерального состава, структуры и физических свойств при аномальных давлениях и температурах. Следует отметить, что структурообразующие процессы нельзя сводить к одним механическим деформациям; в них участвуют осадко- и слоеобразование, денудация, воздействие тепла, процессы метаморфизма и магматизма. Эти и другие факторы накладывают свой отпечаток, а иногда и определяют в основном тип образующихся тектонических форм и структур. Но опять же фундаментом в суждениях о роли этих процессов и о самих этих процессах служит изучение горных пород, их состава, структур, дислокаций и т. д.

Для суждения о процессах и механизмах очень важны экспериментальные исследования, имитирующие природные процессы. Для вовлечения результатов экспериментов в выводы о структурообразующих процессах опять же необходимо использование принципа актуализма. Здесь надо сказать о множественности механизмов складкообразования, образования разломов и т. д., а также о возможной неоднозначности решений о механизме и ходе структурообразующих процессов.

Тем не менее широкое использование в таких построениях фактического материала (исследование горных пород, экспериментальные данные) и таких четких принципов, как принципы актуализма и точных наук, делают такие построения весьма вероятными и приближают их к классу *эмпирических обобщений*. Мало того, представления о структурообразующих движениях *проверяемы*, и всегда может быть предложен комплекс реальных исследований для их проверки, подтверждения или опровержения. То есть многие из гипотез о структурообразующих движениях могут быть отнесены к классу рабочих гипотез, обычно используемых в практике геолого-поисковых работ.

Разработка представлений о структурообразующих процессах важна для всей практики геологоразведочных работ по нескольким причинам.

Во-первых, решение вопроса о генезисе структурных форм позволяет судить о возможном их распространении по латерали и, если с этими структурными формами связаны некоторые типы залежей полезных ископаемых, о направлениях их поисков.

Во-вторых, таким же образом возникает возможность суждения о распространении структурных форм на глубину, что позволяет ориентировать поиски глубоко расположенных рудных, нефтяных или иных залежей.

В-третьих, возникает возможность суждения о закономерностях изменения характера структурных форм по латерали и вертикали, с чем могут быть связаны и предположения об изменениях типов, размеров и т. д. залежей полезных ископаемых в этих направлениях.

В первом и втором случаях речь идет о закономерностях размещения структурных форм *того или иного типа*, в третьем — о закономерностях их изменений.

2. Суждения о движениях и других процессах в мантии, т. е. в геосфере, охарактеризованной скоростями упругих волн в некотором принятом в существующих определениях мантии их диапазоне, формируются совершенно иначе.

Горных пород (или иного вещества), находящихся на глубинах мантии, *никто не видел и не исследовал*. Правда, *некоторым* горным породам иногда приписывается принадлежность в мантии. Так, многие ксенолиты считаются вынесенными из мантии, некоторые породы морского дна считаются мантийными. Однако это не всегда строго доказывается.

По аналогии с породами морского дна некоторые породы континентов также считаются мантийными (офиолиты). Некоторые излившиеся породы (базальты) связываются с мантийными источниками; очень вероятно, но и в этом смысле сами породы формируются на поверхности Земли.

Отдавая дань уважения всем гипотезам о принадлежности тех или иных пород к мантии, отметим все же, что вопрос этот остается открытым, и мы пока не можем уверенно и непосредственно изучать горнопородный состав мантии. Тем более мы *никогда не можем непосредственно наблюдать* ни последовательности пород, ни структурных форм мантии, что исключает использование принципа актуализма к исследованиям движений и процессов в мантии. В равной мере с позиции того же принципа мы можем лишь с большой осторожностью применять законы механики к разработке представлений о возникновении и развитии каких-либо конкретных структурных форм в мантии по той *причине, что самих-то этих форм и не видели и не знаем*.

3. О связи структурообразующих движений в коре с мантийными процессами. Суждения о движениях и процессах в мантии основываются только на данных, получаемых в близповерхностных зонах Земли, экспериментах, геофизических наблюдениях, исследованиях некоторых экзотических пород, гипотетически связываемых с мантией, т. е. косвенных данных.

Геофизические данные дают нам непосредственное представление о геофизических полях, но лишь косвенные и гипотетические представления о горнопородном или химическом составе мантии. Эти представления о составе и процессах в мантии вытекают, в частности, и обязательно из реконструируемых нами процессов структурообразования в коре. Так, например, одни геологи на основании геологических наблюдений, истолкования *линейных магнитных аномалий* и сейсмометрических данных делают вывод о горизонтальном смещении крупных плит и приходят к логически оправданному умозаключению *о конвективных течениях*, а другие геологи, делающие из своих наблюдений (в том числе геофизических и геохимических данных) вывод о ведущей роли вертикальных структурообразующих движений, приходят к заключению о преобладании в мантии вертикальных же перемещений, *связанных* с неоднородно распределенной и неравномерно протекающей *гравитационной дифференциацией* вещества планеты. Само собой разумеется, что в рассуждения о возможных движениях и процессах в мантии вовлекается разнообразный геофизический, геохимический и экспериментальный материал, а также закладываются различные гипотезы, например о распределении температур и давлений с глубиной, о вязкости и других *реологических свойствах мантии* и т. д.

Следовательно, если так или иначе формулируются представления о движениях и процессах в мантии, то в этих представлениях уже заложены гипотезы о связи их со структурообразующими процессами в коре. В частности, это касается твердой приливной волны как упругой деформации поверхности Земли. Поэтому обратный ход рассуждений от мантийных процессов (область научной гипотезы) к структурообразованию в коре (область эмпирических обобщений и рабочих гипотез) не может внести никакого нового знания о связи структурообразования в коре с процессами в мантии. Заметим при этом, что хорошо разрабатываемые научные гипотезы о глубинном строении Земли и процессах в мантии являются важным стимулом и ориентиром в проводимых нами конкретных исследованиях. Поэтому неправильно было бы считать, *что научные гипотезы вообще бесполезны. Их скорее можно* сравнить с маяками на пути развития научного познания Земли.

В некоторых случаях как будто бы представляется возможным непосредственно судить о связи движений мантии с движениями в коре. Я имею в виду крупные неотектонические поднятия над участками «разуплотненной мантии». Здесь все получается очень логично. Разуплотнение мантии на первый взгляд представляется *вполне бесспорным. Мы располагаем только геофизическими* данными и оперируем только скоростями и плотностями, но отнюдь не самим веществом (в его горнопородном или химическом выражении). Мало того, мы принимаем гипотезу о наличии однозначной функциональной зависимости скорости и плотности. Однако мы уже убедились, что это может быть далеко не так. Исследования в различных районах Дальнего Востока и Сибири

показали, что при выравненности и примерно одинаковых глубинах залегания поверхности М (что хорошо увязывалось бы с представлением о плоском и горизонтальном залегании толщ в низах коры) гравиметрические данные показывают неравномерное распределение масс по их плотности, расположение центров гравитирующих масс на различных уровнях, частично превышающих глубины поверхности М. Это в переводе на геологический язык могло бы означать весьма «неспокойные» структурные условия с наличием ряда значительных поднятий и опущенных блоков. Здесь нет прямой корреляции между сейсмометрическими и гравиметрическими данными, и создается впечатление, что волновые границы формируются вне связи с горнопородными границами, хотя полностью такую связь нельзя отрицать, и она в какой-то степени должна сказываться на поведении волновых границ.

Отметим, что сказанное касается метаморфической оболочки Земли, а в пределах неглубоко залегающих толщ нефтеносных бассейнов корреляция между скоростями, плотностями и литологическим составом весьма велика, но книзу она исчезает.

Резюмируя сказанное, отметим, что в умозаключения о связи структурообразования в коре (неотектонические поднятия) и движений в мантии («разуплотнения мантии») включаются по крайней мере две кардинальные научные гипотезы: во-первых, предположение о высокой коррелируемости скоростных и плотностных характеристик, во-вторых, допущение того, что вещество, плотность которого опосредованно определена по сейсмическим данным, не изначально было таким, а пришло в современное свое состояние в результате процесса разуплотнения. Обе гипотезы нуждаются в проверке и корректировке хотя связь между разуплотнением мантии и неотектоническими поднятиями представляется вполне очевидной. Однако вспомним, сколько вполне «очевидных» представлений в науке оказывались ложными при последующих исследованиях или открытиях. Например, понижение скоростей здесь может быть связано не только с изменениями плотности, но и с изменениями температур, а причина неотектонического поднятия может заключаться не в «разуплотнении мантии», а в более общем и более глубинном явлении, обусловливающем поднятие некоторого блока в целом, а также при этом его разогревание и другие изменения.

Два варианта понимания связи структурообразующих движений в коре с движениями и процессами в мантии — плитный и вертикальный — принадлежат к огромному, практически бесконечному множеству различных вариантов, и поэтому их нельзя считать альтернативными. «Лес гипотез», связывающих нас с представлениями о мантии, очень велик и густ и часто уподобляется непроходимым дебрям. Однако в стремлении к познанию тайн природы это не должно нас смущать. Мы должны разрабатывать различные построения, касающиеся глубин Земли, эти представления подкреплять или опровергать, не игнорируя малейших новых фактических данных, независимо от их специализации.

# ГЛАВА VI
# ГЛУБИННАЯ ТЕКТОНИКА

Существуют две группы сведений, служащих для построения моделей глубинной тектоники. К первой группе относятся геофизические поля и геофизические параметры, в частности сейсмологические, гравитационные, магнитные, геотермические и другие данные, позволяющие строить модели Земли в различных специализациях; ко второй — те поверхностные геологические наблюдения, которые могут быть применены при построении моделей глубинной тектоники. К последней принадлежат глубинные структурные формы и тела, а также их модели, «глубинные свидетели» и новейшие движения. Когда речь шла о выделении глубинных разломов и глубинных структур, вопрос об их корнях оставался открытым. Предположив, что Земля имеет тектонические формы и «каменный» состав, распространяющиеся далеко в недра, мы могли бы экстраполировать глубинные структуры на большие глубины Земли; однако геофизические данные, в частности сейсмологические (установление поверхностей М, Конрада и др.), указывают на существование принципиально иной структуры, по-видимому, связанной с термодинамическими условиями недр. Это не позволяет прослеживать корни вырисовываемых на основании поверхностных наблюдений глубинных структур в глубокие недра Земли, исходя лишь из наших геометрических привычек. Отсюда важнейшей задачей геофизических исследований, которые могут проводиться на уровне как разведочной, так и глубинной геофизики, является установление структурно-оформленных корней глубинных структур. Это существенно не только в теоретическом отношении, но имеет также огромный практический смысл, поскольку может указывать пути поисков источников полезных ископаемых или их залежей на больших глубинах, которые в будущем могут быть освоены. Следует иметь в виду, что корни могут распространяться на различные глубины, что может быть связано с размерами структур (вероятная соразмерность горизонтальной и вертикальной протяженности) или же с расположением их на участках Земли, обладающих различными свойствами (существование выделяемой по геофизическим признакам земной коры океанического и континентального типов). Таким образом, корни следует рассматривать не как однородную или одноуровневую систему, а как набор разнообразных природных объектов, требующих особых подходов и особых методик исследований.

К «глубинным свидетелям» относятся следы различных геологических явлений, связывающих глубокие недра Земли с ее поверхностью. К этим следам могут быть отнесены магматические образования, ксенолиты, подземные воды и подземные газы,

которым по тем или иным признакам может быть приписано глубинное происхождение и которые так или иначе могут быть использованы для построения моделей глубинного строения Земли.

Изучение современных движений, в частности отраженных глубинных движений (например, квазиупругих поднятий щитов), сейсмичности и вулканизма играет большую роль в исследовании глубинной тектоники.

Хотя поверхностная, доступная непосредственным наблюдениям оболочка Земли и объекты глубинной тектоники неразрывно связаны, разделять их необходимо по соображениям удобства изучения и, в частности, потому, что построения в этих двух сферах базируются на различных исходных материалах и методы их исследования существенно различны. В процессе построения моделей также вовлекаются результаты экспериментов, произведенных на поверхности Земли, физико-химические и механические законы, установленные на поверхности Земли, и затем различные экстраполяции и аналогии. Переходя от объектов традиционной тектоники к объектам глубинной тектоники, мы переходим с уровня наблюдений на уровень конструктов. Учитывая разнородность данных, необходимо соблюдать принцип специализации. Особо важное положение в системе исследований глубин Земли занимает проблема интерпретации, ввиду того, что у нас, геологов, всегда существует естественное желание свести данные любой специализации к петрографическим (горнопородным) данным и представить себе недра Земли в виде элементов, выраженных не в показателях физических свойств, а в петрографических терминах, отражающих или то, что является горной породой, или то, что ее заменяет. При построении моделей возникает сложный лабиринт гипотез, которые должны явиться рабочими инструментами в проводимых исследованиях.

Любой гипотетический вывод, включая выводы, основанные на аналогии и экстраполяциях, является вероятностным. Гипотеза приводит к одному из вероятных решений вопроса; каждое из таких решений может содержать «зерно истины», связанное с использованной информацией и путями научного поиска, в том числе теоретическими. Применение гипотезы как рабочего инструмента в исследованиях необходимо сочетать с указанием способов прямой или косвенной проверки гипотезы. Прямая проверка может утвердить (или опровергнуть) гипотезу как факт, а косвенная — повысить (или понизить) ее вероятность. При оперировании различными гипотезами, связанными с решением одного вопроса, надо соблюдать *принцип суперпозиции гипотез*, что ведет к обогащению научного знания, повышению вероятности выводов и более всестороннему подходу, чем в случае выбора только одной из гипотез. Конфронтация научных гипотез неэффективна и неэкономична. Ярким примером служат некоторые малоконструктивные дискуссии «с повышением голоса» между фиксистами и мобилистами или между сторонниками биогенного и абиогенного происхождения нефти.

Для построения статических (квазистатических) моделей глубинной тектоники необходимо установление положения и свойств точек в недрах Земли или линий, или поверхностей, которым могут быть опосредованно приписаны некоторые физические, геохимические или иные свойства по данным наблюдений; таким образом может быть построено неполноопределенное геологическое пространство, а на его основе полноопределенное пространство или модель.

Первый шаг изучения глубинной тектоники, заключающийся в определении физических или геологических свойств точек (линий, поверхностей) внутри Земли, находит свою наиболее оптимальную реализацию в сейсмологических исследованиях. Массовость замеров, точки которых распределяются по огромным пространствам поверхности Земли, наконец, хорошо отлаженная система обработки сейсмограмм и расчетов делают сейсмологические построения одними из наиболее надежных. Однако сейсмологические характеристики сред, границы полей строго специализированы и основаны только на типах упругих волн, их скоростях, преломлениях, отражениях и т. д. Хорошо известны многие сейсмологические границы, такие, как граница ядра и мантии, граница М и многие другие, но нужно иметь в виду, что нельзя уверенно проводить по этим границам границы других специализаций, если не установлена функциональная или хотя бы корреляционная связь между сейсмологической и этой другой (например, минералогической, геохимической) специализацией.

При определении температуры в недрах Земли мы не располагаем ни массовыми данными наблюдений, ни отработанными системами расчетов. Здесь в основе суждений могут лежать представления о величине геотермического градиента, измеренного в близповерхностных условиях, и предположения (а их может быть очень много) о природе и распределении источников тепла внутри Земли. В первом случае мы будем вынуждены довольствоваться простой экстраполяцией, во втором — считать истинными принятые предположения.

Рассмотрим случай чисто геологического содержания. Когда мы на поверхности Земли находим застывшую, излившуюся из недр Земли лаву, которая превратилась в вулканическую горную породу, то мы можем провести ее анализ, определить ее физические свойства, в частности, определить температуру плавления и другие параметры, которые могут представить в каких условиях происходило первоначальное расплавление этой породы прежде, чем она вылилась на поверхность. Отсюда можно сделать вывод, что где-то в недрах Земли в данном районе существовала область, где данная порода находилась в расплавленном состоянии. Это само по себе уже является некоторым показателем строения недр, но еще недостаточным, потому что нам нужно знать, на какой глубине находилась эта расплавленная порода. Здесь, по-видимому, необходимо привлечь на помощь геотермические реконструкции, о которых мы уже говорили, со всеми свойствен-

ными им неточностями, заключающимися в экстраполяции и предположениях. Магматические породы, вулканы и ксенолиты способны дать нам весьма обширную информацию о строении глубоких недр Земли, но при любых построениях, основанных на наблюдениях такого рода, надо иметь в виду, что путь от точки наблюдения на поверхности Земли (горная порода, включения, состав жидкости или газа глубинного происхождения) к той точке в недрах Земли, которую мы хотим геометрически, а также физически или геологически определить, чрезвычайно сложен. Приходится строить гипотезы и применять законы физики, химии и механики. И при этом сложном пути к глубинной точке следует учитывать неизбежность суждений по аналогии и вероятностной природе решений.

Чтобы повысить вероятность решения, надо обнаружить возможно большее количество общих, причем наиболее существенных свойств, с одной стороны, у поверхностного естественного или экспериментального объекта и, с другой — у исследуемой глубинной области или точки. Такое нахождение нескольких или многих общих свойств требует комплексного исследования глубинного объекта. Назовем этот путь повышения вероятности решений *принципом комплексности.*

Далее нам надлежит изучить закономерности связей между свойствами. Разрешение этого вопроса может потребовать специальных экспериментальных или теоретических исследований. Этот второй способ повышения вероятности решения обозначим как *генетический принцип.*

Дальнейшая наша задача заключается в повышении точности глубинных исследований, в частности поисков принципиально новых методов.

Второй шаг в исследовании глубинных недр Земли состоит в построении моделей. Здесь помимо принципа комплексности и генетического принципа особо важным становится принцип специализации, включающий упорядоченность списков свойств и точностей их измерений. Несоблюдение этого принципа приводит к путанице понятий, утрате логики построения, к смешению признаковых пространств.

Не будем останавливаться на сложном вопросе построения и совмещения моделей разных специализаций для получения общих «земных» выводов. Общие подходы в этом вопросе пока отсутствуют, что, думается, связано с непроверяемостью большинства моделей глубинной тектоники в настоящем и даже в обозримом будущем. Поэтому лучше ограничиться рядом примеров современных разработок. Обратим внимание только на соотношение квазистатических, динамических и ретроспективных моделей. В пределах гипергенной оболочки, точнее, «области доступности», для соотношения моделей этих трех типов предложены пока еще не окончательные и, может быть, дискуссионные системы моделей или методологические системы. В сфере глубинной тектоники нет даже этой степени ясности. Здесь квазистатические и динамиче-

ские модели пока неотделимы друг от друга; они как бы совмещаются в единое целое, в единые модели, отражающие одновременно и структуру, и процессы. Для гипергенной оболочки в отношении генезиса и возможной последовательности основных ее структурных элементов — слоев есть общепринятая и достаточно обоснованная концепция, а именно: слой образуется путем распространения вещества на поверхности Земли под контролем гравитационного фактора, а вышележащие слои отложений считаются моложе нижележащих. Эта концепция основана на наблюдениях геологических процессов на (или вблизи) поверхности Земли и применении принципа актуализма в ретроспективных реконструкциях. Вместе с тем мы не можем непосредственно изучать геологические процессы, происходящие в глубоких недрах Земли, и у нас нет способа реконструкции последовательности их формирования, подобного принципу последовательности напластования. Поэтому при установлении какой-либо границы (раздела, поверхности) в глубоких недрах Земли мы не можем ограничиться только определением места этой границы в структуре Земли, а сразу же сталкиваемся с вопросами, как произошла, а затем, когда возникла его граница. Структурная, генетическая и историческая проблемы в решении задач глубинной тектоники сливаются настолько тесно, что здесь не может быть речи о выделении и раздельном рассмотрении систем трех типов, как в случае гипергенной оболочки. Поэтому в отношении построения моделей глубинной тектоники пока не может быть предложена какая-либо общая теория, а приходится ограничиваться критическим рассмотрением отдельных примеров.

## СФЕРИЧЕСКИ-СИММЕТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЗЕМЛИ

*Основной вариант модели Земли по сейсмическим данным.* В очагах землетрясений возникают различные упругие волны, которые распространяются в теле Земли, отражаясь и преломляясь на границах тел (слоев) с различными физическими свойствами, порождая все новые и новые типы волн. Измерения времени прохождения волн от фокусов землетрясений к точкам наблюдения (сейсмостанциям) позволяют судить о неоднородности строения Земли, о ее структуре, причем учитываются не только скорости прохождения волн, но их типы (продольные, поперечные, многие их комбинации и др.) и амплитуды. Точность построения обеспечивается совершенствованием методов и аппаратуры, многочисленностью наблюдений на всей поверхности Земли и, следовательно, возможностью неоднократной проверки. Среди разнообразных особенностей прохождения волн укажем, например, что поверхостные волны P на больших расстояниях от очагов обгоняются волнами PPP (или другими), которые часть пути к станции наблюдения проходят по более глубокозалегающим, более плотным и характеризующимся большими скоростями прохождения волн слоям; такие явления могут уже использоваться для

выяснения структуры Земли; отметим далее, что волны S не проходят или почти не проходят через ядро Земли, что рассматривается как свидетельство жидкого состояния, по крайней мере, наружной части ядра; наконец, «скоростную» характеристику ядра удается установить посредством замеров скоростей прямых волн P, проходящих через ядро.

Огромное преимущество сейсмологического метода при построении глобальной модели глубинной тектоники заключается в том, что с достаточной точностью изучается прохождение упругих волн сквозь Землю, что позволяет непосредственно судить о ее структуре. Земля при этом как бы «просвечивается».

*Модель Б. Гутенберга* представляет Землю как совокупность концентрических оболочек (слоев) и ядра. Слои отличаются скоростями прохождения упругих волн и разделяются поверхностями разрывов первого и второго порядков (резкостные геологические границы первого и второго рода по нашей терминологии). Земной шар, согласно этой модели, состоит из земной коры, оболочки, промежуточного слоя и ядра. Граница между промежуточным слоем и ядром относится к первому роду; при переходе через нее скорости P резко падают с 13 до 8,5 км/с; внутри ядра к центру Земли скорость P возрастает до 11 км/с. Границы второго рода проходят между оболочкой и промежуточным слоем, а также намечаются на глубинах 400—1700 и 2450 м.

Модель Б. Гутенберга появилась не сразу, ей предшествовали многие сейсмологические открытия, касающиеся выяснения структуры Земли. Среди них можно упомянуть работы Э. Вихера (1897, 1899 и 1906 г.), Л. Гейгера и Б. Гутенберга (1909 и 1912 г.), М. Мохоровичича (1915 г.), Б. Голицына (1917 г.).

Модель Гутенберга 1925 и 1933 г., включая предшествовавшие ей построения и последующие уточняющие и детализирующие ее варианты, представляет собой надежное изображение внутренней структуры Земли. Размеры (толщина, радиусы) концентрических элементов этой модели создают единственную пока глобальную геометрическую основу для многих возможных построений глубинной тектоники. Однако элементы (тела) этой модели строго специализированы по признаку скоростей прохождения волн.

К признакам петрографической и геохимической групп эта модель прямого отношения не имеет, и трактовка ее в петрографическом (геохимическом) смысле всегда крайне условна и должна быть очень корректно обоснована. Б. Гутенберг считал неясным вопрос, какие из границ внутри Земли (если таковые имеются) обязаны переходу вещества из одной твердой фазы в другую или изменению состояния, а какие являются результатом химических различий двух сред. К этому можно прибавить, что сейсмические границы внутри Земли могут и, по всей вероятности, во многих случаях зависят не от химического состава или агрегатного состояния, а от напряженного состояния вещества внутри Земли или термодинамических условий.

В результате дальнейших исследований в 1956 г. появилась *модель К. Буллена*, в 1958 г. пересмотренная Б. Гутенбергом. Эта модель также имеет концентрическую структуру — в ней, кроме земной коры (A), выделяются оболочки (слои B и C), образующие верхнюю мантию, слои D′ и D″ — нижнюю мантию, E — внешнее ядро, F — переходную зону и G — внутреннее ядро. Однако не все границы этой модели можно уверенно отнести к естественным границам (резкостным первого и второго ряда). Границы между B, C и D′ намечаются наименее уверенно и, возможно, могут быть проведены лишь как условные границы первого класса, т. е. изоповерхности по свойствам вещества. Восьмиэлементная модель К. Буллена с ее буквенными обозначениями сейчас наиболее распространена.

Зона B имеет интересные особенности. В связи с установлением явления изостазии стали полагать, что под прочной литосферой должен существовать слой повышенной текучести, обеспечивающий изостатическое выравнивание литосферных блоков. Названный Д. Береллом в 1914 г. *астеносферой*, этот слой впоследствии получил любопытную сейсмологическую характеристику. Оказалось, что в астеносфере имеет место снижение скоростей упругих волн по сравнению с уровнем границы M, причем скорости P и S достигают минимумов на разных глубинах. Снижение скорости составляет 0,2—0,3 км/с. О влиянии такого снижения на глубинные геологические процессы можно судить только по физическим (реологическим) расчетам.

Согласно Б. Гутенбергу [1963, с. 107], «граница между слоями B и C находится на глубине, начиная с которой скорость возрастает с глубиной таким образом, что градиент остается постоянным. В среднем эта глубина около 200 км. Нижняя граница «канала с пониженной скоростью» находится приблизительно на глубине, где опять достигается максимальное значение скорости, равное тому, которое наблюдается в кровле мантии или вблизи нее. Для волн P эта глубина равна около 250 км, для волн S — 350 км. Обе эти глубины установлены не очень точно и различаются для разных областей». Астеносферный канал располагается в разных областях на разных глубинах (по расчетам Е. Весаника, 1959 г.), его глубина в Аляске — 45 км, а в Южной Америке — 120 км, и он имеет различную мощность. Канал с пониженной скоростью служит волноводам для волн P и S. Соответствующие каналовые волны особенно отчетливо выделяются, если очаг землетрясений находится примерно на уровне волновода. Отмечаются значительные вертикальные и горизонтальные неоднородности зоны B, несплошное распространение астеносферы и наличие в некоторых участках нескольких астеносферных слоев (полиастеносферная модель Р. З. Тараканова для зоны перехода от Азиатского континента к Тихому океану).

Граница между C и D располагается на глубине 950 км и представляет собой границу второго рода. В слое C скорость возрастает равномерно книзу, причем это связывается с разными

причинами (эффект увеличивающегося давления в условиях однородной и изотропной мантии, фазовые превращения в мантии от фаз низкого давления к фазам высокого давления, изменения состава с глубиной и т. д.) в зависимости от принимаемых гипотетических предпосылок.

Считают, что переходная зона F располагается между радиусами 1700—1200 км. Определение ее границ весьма затруднительно. Согласно Б. Гутенбергу, дисперсия продольных волн в зоне F «вполне может быть следствием перехода от жидкого состояния вещества во внешнем ядре к твердому состоянию во внутреннем ядре» [Суворов, 1978, с. 137—138].

У К. Буллена в основном, но не всегда границы между слоями проведены там, где резко меняются скорости упругих волн или их градиенты (резкостные границы первого и второго рода). Слой А (земная кора) ограничен снизу поверхностью М; она «не настолько резка, чтобы отраженные от нее объемные волны (исключая некоторое ограниченное количество регионов) отчетливо наблюдались. Согласно наиболее принятой точке зрения, в окрестности этой границы происходит изменение скоростей продольных волн от 7 до 8 км/с и аналогичные изменения скоростей поперечных волн, которые, по-видимому, охватывают интервал глубин порядка 1 км и более» [Буллен, 1978, с. 165—176].

Зона В ограничена снизу «20° границей раздела»; эта граница трактуется по-разному: в некоторых расчетах она относится к первому роду, в других — ко второму. Глубина этой границы в работе Ф. Джеффриса в 1939 г.— 0,06 земного радиуса, или 380 км. Вследствие латеральных неоднородностей свойств и геотермических аномалий изменение скорости с глубиной не везде одинаково. В Европе, например, резкий изгиб годографа для продольных волн наблюдается при 15—16°; следовательно, резкое увеличение скоростей продольных волн или их градиентов здесь происходит на значительно меньших глубинах, чем 400 км. «Эта географическая изменчивость была дополнительным доказательством того, что горизонтальные вариации протягиваются на значительные глубины под земной корой» [Буллен, 1978, с. 177]. По данным Д. Брюна, соответствующие таблицы которого приводит К. Буллен, толщина коры, а также подкоровые скорости продольных и поперечных волн соответственно составляют под континентальными щитами — 35 км, 8,3 км/с, 4,7 км/с, «серединой континента» — 38; 8,2; 4,6, «бассейно-горным типом» — 30; 7,8; 4,4, «большой островной дугой» — 30; 7,4—7,8; 4,3, «глубинно-океанической впадиной» — 11; 8,1—8,2; 4 и 5, «срединноокеаническим хребтом» — 10; 7,4—7,6; 4,3. Фиксируемые неравномерными скоростями неоднородности мантии прослеживаются до глубин в несколько сотен километров.

Горизонтальные неоднородности в мантии вызывают значительные затруднения при построении глубинных моделей Земли, которые уже отклоняются от сферической симметрии.

Работы по Международному проекту «Верхняя мантия» с уче-

том более точных расчетов по ядерным взрывам подтвердили существование раздела на глубине 370—400 км, обозначающего подошву слоя B.

Зона C простирается до глубины 900—1000 км (по разным расчетам); только что упомянутыми работами установлены зоны высоких градиентов скоростей на глубине 650 км (по одному из определений), что является основанием для разделения зоны C на C′ и C″.

«Между зонами C и D нет резкой границы... Граница здесь введена для того, чтобы обозначить ту глубину, начиная с которой поведение (градиентов скоростей) вновь становится преимущественно нормальным, но никакой точный физический смысл не может быть приписан этой глубине, выбранной столь условно» [Буллен, 1978, с. 178]. В зоне D («нижняя мантия») градиенты скоростей непрерывны и нормальны. В интервале 2700—2900 км они становятся нулевыми или отрицательными; это служит основанием для выделения D′ и D″.

Зона E («внешнее ядро») располагается между глубинами 2900—4980 км. Скорости поперечных волн здесь считаются равными нулю, что позволяет рассматривать зону E как жидкую. Градиенты продольных волн здесь непрерывны и нормальны. В зоне E, согласно некоторым физическим гипотезам (электромагнитная теория динамо), происходят конвективные токи, создающие основное магнитное поле Земли.

Зона F («переходный слой») находится в интервалах глубин 4980—5120 км; представления о поведении скоростей и их градиентов для продольных волн весьма противоречивы.

Зона G («внутреннее ядро») характеризуется очень малыми, но не отрицательными градиентами скоростей продольных волн. На внешней границе внутреннего ядра скорость продольных волн изменяется скачком от 10,27 до 10,80 км/с, достигая в центре 11,24 км/с.

*Плотностной вариант модели Земли.* В отличие от сейсмологических моделей, в развитии которых мы видели все большее и большее уточнение представлений о внутренней структуре Земли и приближение к варианту, который служит структурной основой для большинства построений, касающихся глубин Земли, плотностные модели в большей степени базируются на теоретических построениях, основанных на гипотетических предпосылках.

Плотностные модели имеют свою историю. Первым основанием для их построения послужили определения средней плотности Земли. Оказалось, что средняя плотность Земли намного превышает плотность горных пород, распространенных на поверхности. Отсюда уже неизбежно следовало, что плотность Земли возрастает с глубиной.

Воспользуемся работами Б. Гутенберга [1963] и К. Буллена [1978], которыми прекрасно освещены проблемы плотности Земли.

Первая гениальная догадка о средней плотности Земли при-

надлежит И. Ньютону, который писал (цитируется по К. Буллену, 1978, с. 17): «После того, как я показал, что Земля приблизительно в 4 раза плотнее Юпитера, количество всего вещества в Земле может быть в пять или шесть раз больше, чем его было бы, если бы Земля полностью состояла из воды». Впоследствии по методу, предложенному Ньютоном (отклонение отвеса под влиянием массы близко расположенной горы), или же по качаниям маятника на разных высотах средняя плотность Земли неоднократно измерялась (маятниковые наблюдения Буге на плоскогорье Кито в 1737—1740 гг., его же измерения отклонения отвеса у горы Чимборасо в 1738 г., такой же опыт У. Г. Маскелайна у Киегаллеон в Шотландии в 1972—1976 гг., маятниковые измерения Карлино в 1821 г., в окрестностях Милана, Еви в шахтах в 1826—1856 гг., Штернека в шахтах Саксонии и Богемии в 1883 г. и многие другие, а также принципиально иные измерения, основанные на воздействии помещавшихся в лабораториях масс на весы, — Митчелл и Кавендиш в 1798 г., Райх в 1837 г., Бейли в 1842 г., Браун и Этвеш в 1896 г. и многие другие).

Интересно, что в результате измерений, проводившихся большим числом исследователей на протяжении более чем двух столетий, сейчас считается наиболее достоверной цифра 5,52, удивительно близкая к средней величине по догадкам Ньютона.

Перед геофизиками, естественно, встал вопрос о закономерностях изменения плотности с глубиной.

Для построения плотностных моделей Земли были разработаны разные теории и предложены разные формулы, причем вначале предполагалось, что с глубиной происходит плавное изменение плотностей без разрывов (резкостных границ).

Б. Гутенберг [1963] отмечают, что, к сожалению (это между прочим, любопытное словцо, так как, когда имеешь дело с природой, нельзя ни о чем сожалеть, можно только исследовать и, по мере возможности, воздействовать и изменять), плотность в Земле не может быть однозначно определена как функция радиуса. Он указывает пять условий, необходимых для любой зависимости (функции) плотности от радиуса (расстояние до центра Земли): 1) эта функция должна давать правильные значения плотностей для поверхностных слоев, 2) то же, для средней плотности Земли (5,52), 3) для нее должно выполняться уравнение Клеро, справедливое для любой эквипотенциальной эллипсоидной поверхности внутри Земли и связывающее величины полярной оси данного эллипсоида и соответствующее ему сжатие (отношение разностей экваториального и полярного радиуса к экваториальному радиусу), 4) соответствовать наблюдаемой величине нутации и влияния Земли на движения Луны, что обеспечивается соблюдением условия «3», 5) увеличение плотности с глубиной.

Моделей с плавным изменением плотности было предложено много. К числу первых относятся выкладки Лежандра 1793 г. и Лапласа 1825 г., основанные на поисках надежного соотношения

между возрастанием с глубиной плотности и гидростатического давления и нахождения таким путем наименее противоречивого соотношения между плотностью и глубиной (или же расстоянием точки от центра Земли). В этой модели при плотности у поверхности $2{,}25 \cdot 10^3$ кг/м$^3$ определяли плотность в центре Земли в $11{,}25 \cdot 10^3$ кг/м$^3$.

В модели Эмдена в определение плотности включена величина модуля всестороннего сжатия и используются коэффициенты, в которые входят этот модуль и плотность; в зависимости от принимаемых значений этих коэффициентов получаются различные варианты модели. Э. Рож в 1848 г. усовершенствовал построение Лапласа, и согласно его модели плотность на поверхности и в центре Земли была принята и вычислена соответственно в $2{,}18 \cdot 10^3$ кг/м$^3$ и $10{,}53 \cdot 10^3$ кг/м$^3$.

У. Томпсон и П. Тайк в 1879 г., Р. Родо в 1885 г. и Э. Е. Вихерт в 1897 г. рассмотрели и рассчитали двухслойные модели с оболочкой однородной плотности и ядром однородной плотности. Такие модели К. Буллен называет «моделями типа предложенной Вихертом». Р. Родо принял плотность оболочки $2{,}7 \cdot 10^3$ кг/м$^3$ и определил плотность ядра в $7{,}47 \cdot 10^3$ кг/м$^3$ и его радиус — 0,844 радиуса Земли. Эти величины у Э. Е. Вихерта составляют $3{,}2 \cdot 10^3$ кг/м$^3$, $8{,}21 \cdot 10^3$ кг/м$^3$ и 0,779; Ф. Джеффрис в 1926 г. с учетом сейсмических данных радиус ядра принял в 0,545 радиуса Земли и предложил значение плотностей $4{,}22 \cdot 10^3$ кг/м$^3$ для оболочки и $12{,}32 \cdot 10^3$ кг/м$^3$ для ядра. Таким образом, в связи с работами Ф. Джеффриса, а еще ранее в 1923 г. Б. Гутенберга плотностные модели Земли оказались в «шорах» сейсмологической модели, которая дает более или менее ясную структурную картину внутреннего строения Земли. Плотностные модели больше уже не выходили из этих «шор», которые помогли им значительно усовершенствоваться, тем более что между скоростями упругих волн и плотностями в определенных условиях (например, постоянство состава и состояния вещества) намечается функциональная зависимость.

К плотностным моделям, связанным с сейсмологическими, относится модель Г. Х. Альфа 1925 г. По его мнению, плотность до глубины 1200 км изменяется по одному линейному закону, а от 1200 до 1290 км — по другому; в ядре же она остается постоянной. Им получены данные изменения плотностей в оболочке от 2,7 до $6{,}4 \cdot 10^3$ кг/м$^3$ и плотность в ядре — $9{,}7 \cdot 10^3$ кг/м$^3$.

В дальнейшем на совершенствование плотностных моделей (теперь уже многослойных, определяемых сейсмологической структурой) оказали влияние работы Б. Вильямсона и Л. Адамса, которые с учетом сейсмологических данных, значений отношения модуля всестороннего сжатия к плотности в зависимости от расстояния от центра Земли получили прямые оценки градиентов плотностей внутри Земли. Они установили, что за счет сжимаемости можно объяснить увеличение плотности на $2 \cdot 10^3$ кг/м$^3$ до глубины 3400 км, «но одна только сжимаемость не может привести

к достаточно высокой плотности центральной области, что необходимо для получения известной массы Земли M. Тем самым Б. Вильямсон и Л. Адамс получили первое прямое доказательство существенного изменения химического состава (или фазового перехода) глубин Земли, т. е. доказательство того, что в среднем вещество ядра находится в ином химическом или физическом состоянии по сравнению с усредненным состоянием вещества оболочки» [Буллен, 1978, с. 96]. Модель Вильямсона — Адамса включает в качестве элементов внешний слой мощностью 60 км с изменением плотности от 2,7 до $3{,}3 \cdot 10^3$ кг/м$^3$, химически однородный слой (1540 км; $3{,}3$—$4{,}35 \cdot 10^3$ кг/м$^3$), слой с переменным химическим составом (1400 км, $4{,}35$—$9{,}5 \cdot 10^3$ кг/м$^3$), центральное ядро (3370 км; $9{,}5$—$10{,}7 \cdot 10^3$ кг/м$^3$). Как следует из приведенных цифровых данных, в этой модели «стерты плотностные границы».

Со временем плотностные модели совершенствовались, вбирая в себя смысл вновь накапливавшихся данных, при этом сейсмологическая структура продолжала оставаться ведущей для расчетов распределения как плотностной, так и других физических свойств.

Многие физические константы связаны друг с другом. Сюда относятся плотность, давление, ускорение силы тяжести, скорость продольных и поперечных сейсмических волн, модули всестороннего сжатия, модули сдвига, модули Юнга, коэффициент Пуассона и другие производные коэффициенты. Эти показатели связаны математическими соотношениями, которые, однако, включают неопределенные независимые параметры. Это делает необходимым введение допущений (гипотез) и, следовательно, приводит к неоднозначным решениям. При получении новых данных модели видоизменяются, причем требование их непротиворечивости является основной путеводной нитью в их построении. Совершенно ясно, что непротиворечивые решения не обязательно могут быть единственными. Следовательно, приходится считаться с множественностью вариантов моделей глубинного строения Земли и перспективой весьма длительного их усовершенствования и изменения.

Поскольку распределение перечисленных физических свойств взаимосвязано, можно считать, что знание распределения какого-либо одного свойства определяет (хотя, как правило, неоднозначно и часто опосредовано) распределение других свойств. Поэтому модель внутреннего строения Земли может быть в отношении этих свойств как бы универсальной. Таковы модели $A''$ и $B_2$, приводящие в соответствии с глубиной (расстоянием от центра Земли) значение плотностей, давления, модуля всестороннего сжатия, ускорения силы тяжести, модуля сдвига, модуля Юнга, коэффициента Пуассона, скоростей продольных и поперечных упругих волн [Буллен, 1978, с. 189—275]. Наиболее надежны экспериментально определяемые значения скоростей. «Разброс» значений плотностей и связанных с ними модулей всестороннего сжатия и сдвига и модулей Юнга гораздо больше.

Определение скоростей поперечных и продольных объемных волн, математические расчеты распределения их физических свойств с учетом гравитационной постоянной, «сжатия», массы Земли, ее среднего радиуса и безразмерного момента инерции, а также других показателей не исчерпывают арсенала средств построения моделей глубинного строения Земли. Большую роль играют наблюдения за поверхностными волнами Лява и Рэлея. Считается, что получаются данные о строении глубоких недр Земли на глубину, соответствующую $^1/_3$ длины поверхностных волн. Волны, дающие информацию о мантии (подкоровых слоях), называются мантийными волнами.

Другим важным источником для корректирования моделей являются наблюдения за собственными колебаниями Земли. Как сообщает К. Буллен, при Чилийском землетрясении 22 мая 1960 г. были зарегистрированы собственные колебания Земли с периодами до 1 ч, что позволило корректировать распределения в Земле плотностей и модулей всестороннего сжатия и сдвига. Процесс использования наблюдений за собственными колебаниями хорошо поясняется словами К. Буллена: «Начинают с какой-либо модели Земли, например, модели A″, в которой учтены прочие данные, в том числе годографы объемных сейсмических волн, уточненное значение момента инерции Земли и т. д. Затем для принятой модели вычисляют периоды собственных колебаний, сравнивают их с периодами, выделенными на сейсмограммах и других записях перемещения деформаций, и находят разности соответствующих периодов. Далее, путем последовательных приближений вносят в модель исправление, с тем чтобы для каждой последующей модели разности теоретических и наблюденных периодов были меньше, чем для предыдущих. Процесс заканчивается, когда разности периодов окажутся в пределах погрешности наблюдений. Вместе с тем стараются придерживаться тех моделей, которые не вступают в противоречия с прочими данными» [1978, с. 308].

---

Из сказанного выше следует, что сферически-симметрическая модель Земли претерпевает постоянные усовершенствования, уточнения и переработку. Классы границ (резкостные, условные), а также их положение еще далеко не установлены. То же самое касается представлений об однородности оболочек. Таким образом, глубокие недра Земли представляют огромный простор для исследований даже существующими средствами.

## НЕОДНОРОДНОСТИ НИЗОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ И ВЕРХНЕЙ МАНТИИ

В связи с изучением глубинного строения зоны БАМ было показано очевидное противоречие между гравиметрическими и сейсмическими данными, смысл которого в том, что глубинные

геологические тела, реконструируемые по волновым характеристикам, не совпадают с геологическими телами, рисуемыми по гравиметрическим данным. *

Так, например, в пределах Алданского щита и Становой складчатой области, по данным интерпретации регионального минимума силы тяжести, распространение низкоплотных преимущественно сиалических масс на глубину достигает 60—70 км. Это тело *сечется сейсмическими границами на глубинах около 20 и 40 км*, которые без существенных изменений их положения прослеживаются в Монголо-Охотскую складчатую область, имеющую иные гравитационные характеристики. Подобная ситуация наблюдается в других районах Дальнего Востока (северная часть Сихотэ-Алинской складчатой области; восточная окраина Буреинского массива и т. д.).

Среди геофизических методов наибольшую информацию о строении коры и мантии Земли дают сейсмические и гравиметрические методы. Другие методы для этих целей используются реже либо из-за их относительно малой глубинности (магнитометрия, радиометрия, электрометрия), либо из-за недостаточности этих данных или недостаточной разработанности вопросов интерпретации. В свою очередь, гравиметрическая изученность территорий существенно превосходит сейсмическую.

Поэтому большинство глубинных разрезов коры и верхов мантии построено на основе корреляционных зависимостей между гравиметрическими (аномалии Буге) и сейсмическими наблюдениями (ГСЗ), где сейсмические данные считаются опорными, т. е. более надежными.

Данные глубокого бурения, экспериментальной петрологии и петрофизики и т. д. показывают, что такие построения не всегда оправданы, особенно когда в выделяемые геофизические (сейсмические) слои вкладывается определенное геологическое содержание: гранитный, гранито-метаморфический, базальтовый слои и т. д. Основная причина установленных расхождений заключается в разной геологической информативности сейсмометрии и гравиметрии, связанной с физической сущностью и возможностями этих методов, неодинаковой в различных геологических ситуациях и для разного диапазона глубин.

Сейсмические методы характеризуются лучшей разрешающей способностью при изучении горизонтально-слоистых сред, а гравиметрические — сред с латеральными неоднородностями (например, блоковые структуры); сейсмические методы обладают большей чувствительностью к выделению границ, а гравиметрические — масс (объемов).

Исходя из такой специфики сейсмометрии и гравиметрии, можно полагать, что сейсмические методы геологически более эффективны при изучении осадочных чехлов платформ и крупных

---

* Соответствующие исследования были проведены автором совместно с геофизиком Ю. Ф. Малышевым и геологом Н. П. Романовским.

впадин, а гравиметрические — при изучении складчатых областей, щитов, срединных массивов. Преимущество сейсмометрии в первом случае практически доказано, в остальных указанных случаях ее достоинства проблематичны. Представляется проблематичной и установившаяся предпочтительность сейсмометрии при исследовании строения земной коры и верхов мантии, если в число исследуемых объектов включить латеральные неоднородности.

*При изучении горизонтальной слоистости земной коры* определение геологической природы как слоев, так и границ не только гипотетично, но и неоднозначно даже в рамках принятых гипотез. Далеко не однозначной является сравнительно простая процедура традиционного выделения «гранитного» и «базальтового» слоев, *во-первых, из-за различной стратификации сейсмических разрезов* земной коры, во-вторых, из-за широкого диапазона скоростных характеристик указанных слоев, в-третьих, из-за прерывистости и неодинаковой четкости сейсмических границ. Количество слоев в земной коре, выделяемых на континенте, меняется от одного до десяти и более. Значения пластовых скоростей в «гранитном» слое колеблются от 5,4 до 6,7 км/с, а в «базальтовом» — от 6,3 до 7,8 км/с.

Как уже отмечалось, геологическая природа сейсмических границ трактуется по-разному. Границы предполагаются горнопородные, структурные, метаморфические, фазовые, связанные с напряженным состоянием и др.

Специфика гравиметрии как индикатора масс с меньшей требовательностью к контрастности границ усиливает ее возможности в оценке реального горнопородного геологического строения недр. Гравитирующие массы более отвечают геологическому содержанию, так как в большей мере определяются составом пород, слагающих геологические тела, чем особенностями физического состояния вещества.

При изучении коры и мантии гравиметрическими и сейсмическими методами большинство исследователей используют корреляционные связи между плотностью и скоростью упругих волн. Методы определения этих параметров широко варьируют от лабораторных способов исследования образцов или параметрических измерений в скважинах до теоретических расчетов одного параметра по другому.

При допущении однородности рассматриваемого геологического вещества можно установить ряд особенностей в соотношениях плотности и скорости продольных волн на разных горизонтах земной коры и мантии.

В области низких значений параметров ($V_p = 1—4$ км/с; $\sigma = 1{,}5—2{,}5 \cdot 10^3$ кг/м$^3$, отвечающих осадочно-вулканогенным толщам или верхам земной коры, корреляция между скоростью и плотностью наиболее разноречива. Например, при плотности $2{,}0 \times 10^3$ кг/м$^3$ скорость изменяется от 1 до 3 км/с, т. е. в 3 раза. Скорее всего это связано с тем, что скорость и плотность одних и тех же пород изменяются неодинаково до глубин 5—7 км, где они

стабилизируют свои значения вследствие закрытия пор под влиянием литостатического давления около $10^8$ Па.

Для интервала значения $V_p = 4{,}5—7{,}5$ км/с и $\sigma = 2{,}6—3{,}0 \times \times 10^3$ кг/м$^3$, соответствующих средним и глубоким горизонтам земной коры, кривые, показывающие соотношения между скоростью и плотностью при атмосферном давлении и давлениях $4—10 \cdot 10^8$ Па, имеют существенно отличные угловые коэффициенты. В этом же диапазоне глубин устанавливаются наибольшие различия в отношениях $\sigma$ и $V_p$ для районов с океаническим и континентальным типом коры, а также для районов с горным рельефом и равнин. Например, при скорости 6 км/с значения плотности изменяются от 2,6 до $2{,}95 \cdot 10^3$ кг/м$^3$, являясь минимальными под горными сооружениями континентов и максимальными — в океанических областях.

При увеличении скорости упругих волн более 8 км/с (уровень верхней мантии) сопоставление ее значений со значениями плотности становится малообоснованными, так как использование экстраполированных значений $\sigma$ по $V_p$ может привести к получению таких высоких значений плотности ($3{,}8—3{,}9 \cdot 10^3$ кг/м$^3$), которые не допускаются для верхов мантии. Скорость упругих волн является менее устойчивым параметром, чем плотность: величина скорости при постоянной плотности на разных глубинах изменяется от 15 до 30 %, а вариации величины плотности при постоянной скорости на тех же горизонтах составляют только 8—17 %. По-видимому, это связано с тем, что упругие свойства пород более чувствительны к изменению температуры и давления, чем плотностные.

Обычно строится плотностной разрез коры путем перевода измеренных при сейсмических исследованиях значений скорости в расчетное значение плотности для каждого горизонта (блока) земной коры. Размещение плотностных неоднородностей здесь ограничивается только земной корой и не переходит границу М.

Недоучет плотностных неоднородностей верхней мантии приводит к построению плотностных моделей земной коры, не подтверждаемых действительными значениями плотности пород на поверхности и в скважинах. Не отрицая процедуру подбора плотностного разреза по скоростному как метод исследования глубин, можно поставить под сомнение обязательность совпадения расчетной и наблюденной кривых силы тяжести. Необходимо обращать внимание на несовпадение таких кривых как на возможный источник новых сведений о глубинном строении.

Таким образом, можно думать, что сейсмические методы, считающиеся обычно наиболее точным инструментом определения геологической структуры глубин Земли, входят в противоречие с гравиметрическими данными, которые тоже бесспорно отражают распределение глубинных масс, т. е. геологические тела и структуры.

Пример Алданского щита и некоторые соображения дают право предполагать, что на больших глубинах, возможно дости-

гающих верхней и даже нижней мантии, плотностные тела не обязательно соответствуют скоростным слоям, порождая так называемые «неоднородности», и что глубинная классическая симметрично-сферическая модель Земли, функционально выводимая из волновых характеристик в предположении однородности геологического вещества, может периодически осложняться плотностными неоднородностями нерегулярного характера. Не исключено, что геологическая структура больших глубин вообще очень сложна и нерегулярна, и она не только отражает, но и может обусловливать непрерывную дифференциацию вещества внутри Земли.

Оценивая геологическую информативность сейсмических методов, можно говорить о трех ее ступенях.

Первая ступень — сравнительно небольшие глубины (до десяти и реже более километров) во впадинах, заполненных осадочными толщами. Здесь, как показывает опыт сейсморазведки в Прикаспийской впадине, Западно-Сибирской низменности и других нефтеносных областях, отражающие границы и слои с разными скоростями прохождения упругих волн настолько точно соответствуют геологическим границам, что на них ориентируются при поисках нефти и газа и уточнении строения вмещающих их структурных форм.

Вторая ступень — кристаллический фундамент или другие образования, близко соответствующие этому понятию (щиты, метаморфические комплексы и т. д.), охватывающие, вероятно, всю земную кору. Это — сфера, где мы можем сопоставлять гравиметрические данные с сейсмологическими; они часто входят друг с другом в противоречие, и сейсмический метод становится менее информативным в структурно-геологическом отношении.

Третья ступень — подкоровые пространства земных глубин, куда не распространяются возможности объемных гравиметрических расчетов, необходимых для целей региональной геологии, и охватывающие, вероятно, все пространство мантии. Здесь сейсмический метод является единственным дающим информацию о структуре Земли и, следовательно, единственным, на который можно пока положиться.

Из сказанного следует, что наряду с имеющей сейсмологическую природу сферически-симметрической структурой Земли может существовать иная, более близкая к горнопородной специализации, ее нерегулярная (блоковая, мозаичная) неоднородная в плотностном отношении структура. В ней внеземные влияния могут постоянно нарушать гравитационное равновесие, которое затем будет стремиться к восстановлению гравитационным полем Земли. Этот процесс наряду с другими может служить генератором внутриземного тепла и обусловливать тектонические формы разного знака, разного порядка размеров и разной скорости формирования. Эта тектоногенная нерегулярная структура Земли, сосуществующая со сферически-концентрической ее структурой, может снизу ограничиваться некоторой поверхностью выравнивания, об уровне которой нельзя пока даже догадываться: возможно,

что он достигает подошвы нижней мантии. «Блоки», ограниченные снизу столь глубокой поверхностью, по соразмерности могли бы соответствовать крупнейшим структурным элементам поверхности Земли — континентам и океанам и могли бы совершать «дрейф» на базе жидкой зоны Е. Меньшие глубины и меньшие объемы «блоков» могут быть связаны с поверхностными структурами меньших размеров (платформы, геосинклинальные области и системы, глубинные разломы, области активизации, окраинные моря и т. д.) и влиять на их движения, перемещения и развитие. Не исключено, что особенности сложных структурных сочетаний глубинных геологических тел сейсмологической и плотностной природы будут освещены при дальнейших исследованиях собственных колебаний Земли, связанных с сопряженными изменениями сейсмологических и гравитационных полей и позволяющие изучать различные по глубине участки земных недр.

---

Наряду с латеральными неоднородностями «скоростных» слоев можно говорить о неоднородностях, выраженных мозаично-блоковой структурой, независимой от слоистой или сочетающейся с ней. Понятие неоднородности пока не определено; его следует определять через родовое понятие «геологическое тело» с использованием для выделения его резкостных и условных границ первого класса, допуская введение произвольных границ при неопределенности распространения неоднородности книзу. С глубиной неоднородности или менее выражены, или менее изучены. С уверенностью можно говорить о неодородности земной коры и верхней мантии.

Для выделения таких геологических тел и их границ необходимо располагать фиксированным списком свойств (основанных преимущественно на волновых характеристиках), причем возможно выделение тел и границ различной сейсмической специализации, которые могут совпадать или пересекаться; примером служат неоднородности, выделяемые по продольным и поперечным волнам, не совпадающие друг с другом, как, например, в случае некоторых волноводов. Таким путем мыслится возможность создания методологических основ исследования структуры низов земной коры и мантии.

Основой для суждения о глубинных неоднородностях в настоящее время, учитывая ограниченные по глубине возможности объемных гравиметрических расчетов, служит почти исключительно сейсмологический материал.

Наиболее крупные неоднородности соответствуют различному строению и различным мощностям коры под континентами и океанами. Уже сами различные глубины М говорят о различном состоянии недр Земли под этими крупнейшими структурными элементами. На основании этого факта неточно было бы говорить, что континенты и океаны связаны только с неоднородностями коры. Учитывая, что граница М подвижна относительно горнопо-

родных образований, ее более высокое или более низкое положение можно рассматривать только как показатель состояния недр. Ведь под континентами «волновая», а не какая-либо иная кора становится толще и обладает более тонкой структурой. Как сообщает И. А. Соловьева [«Проблемы...», 1981, с. 89], «различия в строении коры блоков второго порядка — стабильность зон и орогенических континентальных областей — прослеживаются по дисперсии скоростей поверхностных волн вплоть до глубин не менее 200 км». Это, впрочем, вполне естественно. Блоки первого порядка вызывают мощную реакцию недр, выражающуюся в крупном перемещении раздела М, а влияние блоков второго порядка сказывается значительно более слабыми сейсмическими эффектами в недрах. И. А. Соловьева эти сейсмические эффекты обозначает как мантийные «упругие корни» структурных элементов гипергенной оболочки (поверхности Земли). Размеры таких неоднородностей 300—1000 км по латерали, 200 км и более по глубине.

Интересно распределение «упругих корней» (т. е. блоков пониженных скоростей) — Алеутская дуга их не имеет и не отличается по скоростным характеристикам поперечных волн от мантии под стабильными участками Тихого океана.

Под Японской дугой дело обстоит иначе; дисперсия малопериодных волн здесь даже выше континентальной. Курильская дуга имеет «упругий корень».

Следующий тип неоднородностей определяется анизотропией. Так, скорости продольных и поперечных волн, распространяющиеся по различным осям кристаллов, различны. Установлено, что скорости продольных волн в верхах мантии Тихого океана зависят от направлений; вообще эта анизотропия значительно лучше в отличие от континентов выражена в океанах, где кора более тонка и однородна. Коэффициенты анизотропии составляют 3—10 %. Закономерных связей между азимутами максимальных скоростей не установлено, о чем подробные сведения приводит И. А. Соловьева. Она пишет: «Крайне небольшое количество данных не позволяет использовать их как основание для сколько-нибудь серьезных тектонических выводов, и в равной мере они не могут служить доказательством или опровержением существующих воззрений» [«Проблемы...», 1981, с. 94].

## ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ НИЗОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ И ВЕРХНЕЙ МАНТИИ

С земной корой как геофизическим понятием тесно связана геофизическая граница Мохоровичича, соответствующая подошве земной коры. Эта граница как сравнительно неглубоколежащий сейсмический раздел часто привлекает внимание геологов и становится объектом различных геологических интерпретаций. В выделяемой же нами гипергенной оболочке, состоящей из горных пород как сформировавшихся на поверхности Земли, так и внед-

рившихся в них снизу в виде разного рода относительно более молодых магматических и гидрохимических образований, нижняя граница с уверенностью не выделяется и, строго говоря, еще не намечена. Существующие высказывания о принадлежности некоторых извлеченных со дна обломков ультраосновных пород к «мантии» (здесь понятие земной коры отождествляется с понятием гипергенной оболочки, и под словом «мантия» следует понимать первичные «доактуалистические» недра Земли), о принадлежности к первичной Земле «комплекса инфраструктуры» Алданского щита и т. д. пока еще далеко недостаточно обоснованы. Смешение признаковых пространств ведет многих исследователей к пониманию «земной коры» и «гипергенной оболочки» как синонимов со всеми вытекающими отсюда выводами. Все это позволяет вопрос о невскрытой нигде достоверно подошве гипергенной оболочки отнести к сфере глубинной тектоники.

### Подошва гипергенной оболочки и офиолиты

Гипергенная оболочка покрывает поверхность Земли, являясь внешней ее оболочкой, выделяемой по горнопородной специализации. Не исключено, конечно, что на каких-либо пока не изученных участках океанического дна или под льдами Антарктиды она имеет «дыры», в которых на поверхность выступает «первичная» Земля, существовавшая до начала формирования гипергенной оболочки. Однако вероятность существования таких «дыр» очень невелика, и поэтому их открытие внесло бы в геологию весьма большой объем новой информации. Мы получили бы возможность судить о положении и геологической природе нижней границы гипергенной оболочки и существенно продвинулись бы в решении проблемы происхождения Земли. Более вероятна возможность открытия нижней границы оболочки путем бурения. Но эта возможность пока, по-видимому, еще далека до реализации. Кольская скважина при своей рекордной глубине свыше 12 км находится в метаморфизованной толще, пронизанной телами изверженных пород, а невдалеке от скважины обнажаются на поверхности еще более глубокие слои гипергенной оболочки.

Кроме бурения установить нижнюю границу можно еще двумя путями — петрографическим (геохимическим) и геофизическим. Первый состоит в поисках выходов пород мантии, которая, как предполагается, подстилает гипергенную оболочку, или же слоистых толщ, приписываемых к самым низам «коры»; второй — заключается в отождествлении некоторых геофизических границ с нижней границей гипергенной оболочки.

В качестве самых низов «коры» или гипергенной оболочки часто выделяются офиолитовые комплексы.

Связь офиолитовых комплексов с подошвой гипергенной оболочки рисуется следующим образом. Наиболее древние породы офиолитов — гарцбургиты, лерцолиты и дуниты вверх сменяются пироксенитовыми габбро и амфиболитами. Возраст этих интен-

сивно катаклазированных и неоднократно метаморфизованных гипербазитов неизвестен и может быть раннедокембрийским. Это — субстрат («первый офиолитовый комплекс», «меланократовый фундамент»), выводимый вследствие раскрытия земной коры на континентах из более глубоких горизонтов литосферы и мантии. В процессе раскрытия образуется «второй офиолитовый комплекс» («кумулятивный комплекс») пироксенитов и полосчатых габбро, возникший одновременно с океанической структурой, т. е. во время заложения эвгеосинклиналей. Без достаточных оснований *подошву полосчатого комплекса часто отождествляют с границей* М. Выше располагается комплекс подушечных толеитовых базальтов, соответствующих второму слою в океанах. «Меланократовый фундамент» всегда находится в виде прослоев среди осадочных пород гипергенной оболочки с признаками тектонических контактов и дроблений. Эти прослои трактуются как тектонические чешуи коры океанического типа, надвинутые на края континентальных глыб. А. В. Пейве и другие исследователи считают, что офиолитовый комплекс во всех без исключения складчатых зонах континентов является аллохтонным и располагается внутри крупных тектонических покровов, корни которых в большинстве случаев неизвестны или предполагаются лишь путем палинспастических построений. Нигде, однако, не было найдено корней этих чешуй и, следовательно, не установлена их прямая принадлежность к «первичной» Земле. Представление о чешуях, таким образом, является гипотетическим, причем вызывает некоторое смущение тот факт, что меланократовый фундамент находится только в чешуях, процесс образования которых сложный и в какой-то степени случайный и которые поэтому должны представлять собой более редкий тип залегания, чем «коренное», как более обычное.

Отметим еще, что по поводу происхождения офиолитов существует и развивается несколько гипотез: 1) магматическая (интрузия и гравитационная дифференциация внутри магматической камеры), 2) магматическая в вулканическом варианте, 3) мантийная (вынос вверх блоков мантии), 4) мантийно-магматическая (комбинация второй и третьей гипотез, особенно широко применяемая к срединноокеаническим хребтам) и, наконец, 5) тектонического внедрения офиолитовых чешуй, оторгнутых с поверхности мантии, точнее, от зоны М (причем зона М представляется как тектонизированный рестит). Однако приписывание офиолитов к зоне М, а тем более трактовка ее как поверхности тектонического срыва является весьма смелой. Отметим, что все перечисленные гипотезы как подтверждаются, так и опровергаются некоторыми фактами (геологические наблюдения, минералогические и *геохимические анализы) и иллюстрируются моделями возможных* механизмов, но все эти факты и модели относятся к частным случаям. Суперпозиция (совокупное упорядоченное сопоставление) этих гипотез, вероятно, позволила бы установить в природе разнообразие условий образования офиолитовых комплексов и заставила бы нас решать вопрос об их происхождении для конкретных

случаев и районов, не стремясь свести все к одной идее и одному механизму.

*Заметим, что при исследовании офиолитовых комплексов* не только с петрографической стороны, но и с тектонической, т. е. с учетом истории их формирования и участия в тектонических процессах, подчас допускаются значительные неточности в суждениях, вытекающие из несоблюдения принципа специализации. Так, например, представляет формирование офиолитового комплекса с брекчиями кровли меланократового фундамента А. Л. Книппер. Первый этап — образование *дунит-гарцбургитового комплекса* с лерцолитами. Второй этап — образование кумулятивного «полосчатого» комплекса (переслаивание дунитов, верлитов, клинопироксенитов и габбро), что связано с горизонтальными движениями внутри литосферы, в частности вдоль границы М, причем предполагается «утонение земной коры за счет раздвижения» и внедрения основной магмы; при этом за счет «сдирания» верхов литосферы у поверхности М образуется зона брекчии. Третий этап — внедрение диабазовых даек, причем в силу «удаления земной коры» дайки брекчируются, а кровля меланократового фундамента вводится в сферу осадконакопления. Четвертый этап—формирование осадочно-вулканогенной части комплекса — базальтовых лав с увеличением вверх содержания кремнистых осадков. Последовательность слоев здесь изложена правильно, однако в характеристике второго и третьего этапов заключены существенные логические неточности. Действительно, как можно говорить «об утонении коры» и «об удалении коры». Так можно было бы говорить о горнопородном комплексе, но кора — тело, выделяемое по волновым характеристикам, по которым могут лишь перемещаться сейсмические границы, не являющиеся взаимосогласными с горнопородными границами (если не считать верхних неметаморфизованных толщ в пределах, например, некоторых нефтегазоносных областей). Связи же в глубокоизмененных горнопородных комплексах со скоростными телами и разделами совершенно не выяснены. Геологический смысл понятия «кора» недостаточно ясен, поскольку никем и никак не определена нижняя граница этого геологического тела.

Тем более, конечно, нельзя наблюдать границу М в натуре, поскольку она характеризуется лишь скоростями прохождения сейсмических волн, которые непосредственно (визуально) не наблюдаются и которые нельзя, конечно, в геологическом смысле картировать. Геологически наблюдать и картировать можно только поверхности и тела горнопородной или хотя бы геохимической специализации, которые сопоставляются с границами М. Однако таких, даже в самой слабой степени обоснованных сопоставлений мы пока не знаем.

Офиолитовые комплексы местами сопровождаются сложным гетерогенным образованием — меланжем, происхождение которого вызывает обширные дискуссии. По И. Бейли и У. Миклиену (цитируется по А. В. Пейве), это «гигантский по мощности тектонит,

состоящий из смеси пестрых по составу и цвету пород: гипербазитов, габброидов, диабазов, спилитов, туфов, розовых и зеленых кремнисто-глинистых сланцев, радиоляритов и экзотических глыб различных известняков и метаморфических сланцев. Все эти породы хаотически перемещены, смяты, раздроблены и развальцованы» [Пейве, 1969, с. 7].

Различаются мономиктовые и полимиктовые разновидности меланжа, а также меланж тектонического, осадочного и сложного генезиса. Тектонический меланж связан с покровной тектоникой; *осадочный — с сейсмогравитационными обрушениями.* Наиболее распространенным является смешанный меланж.

А. В. Пейве провел параллель между офиолитовым комплексом с меланжами Альпийско-Гималайского пояса и разрезом океанического типа коры современных океанов. Классическая «триада» Г. Штейнмана для офиолитов, соответствующих инициальному магматизму Г. Штилле для энгеосинклиналей, в настоящее *время широко сопоставляется с разрезами современного* океанического дна. Офиолитовые эвгеосинклинальные прогибы континентов, исходя из этого сравнения, многие связывают со «спрединги» прошлого.

Если те ультрабазитовые породы, образцы которых извлекаются драгированием в основании склонов рифтовых ущелий срединноокеанических хребтов, бортах глубоководных желобов и т. д., действительно принадлежат «мантии» или первичной Земле, то вопрос о подошве гипергенной оболочки близок к разрешению. Но для такой идентификации нет еще достаточных оснований. Во-первых, драгирование позволяет получить лишь отдельные образцы, не характеризующие достоверно разрез в целом и возможно представляющие лишь прослои в гипергенной оболочке, во-вторых, гипербазиты могут не относиться ни к субстрату гипергенной оболочки, ни к прослоям в ней, а появляться в результате внедрений снизу, тем более что находки их всегда расположены близко к предполагаемым разломам. Таким образом, вопрос о тектонической природе гипербазитов океанического дна требует дальнейшего исследования. С решением этого вопроса органически связаны поиски аналогов «океанической коры» на континентах и идентификация океанических и континентальных офиолитов.

Утверждение А. В. Пейве [1969, с. 12], что геологи, изучавшие офиолиты и «доказавшие» (?) их аллохтонное залегание в земной коре континентов, единодушно признают в этих породах океаническую кору геологического прошлого, потому что разрезы ее по составу, тектонике и стратиграфии весьма сходны с разрезами коры современных океанов, является неубедительным, так как ни «единодушное признание», ни «сходство» (т. е. метод простой аналогии) никак не могут рассматриваться как научные доказательства. Отметим, что распространенная аналогия, на которой основан актуализм, является действительно мощным средством в геологии. Следующее высказывание А. В. Пейве еще сильнее — офиолитовые альпинотипные аллохтоны, которые *несомненно*

относятся к океанической коре, хорошо изучены на островных дугах Тихого и Атлантического океанов и в молодых складчатых сооружениях, обрамляющих эти океаны (Корякское нагорье, Камчатка, Сахалин, Япония, Филиппины, Новая Каледония, Новая Гвинея и ряд других районов)». Если бы слово «несомненно» здесь было бы заменено, например, «может быть» (а ведь может и не быть), было бы значительно лучше.

Существуют утверждения об установлении «полного разреза океанической коры». Это высказано, например, в отношении района Филиппинского моря так: «...впервые в мировой практике в пределах котловины окраинного моря установлен полный разрез океанической коры, в основании которого залегают лерцолиты, выше сменяющиеся габброидами и толеитовыми базальтами» [«Геология дна...», 1980, с. 252]; здесь утверждается, в частности, что на островном склоне Марианского и Японского желобов, а также на о-ве Яп обнаружен полный разрез (гипербазиты, габбро), сходный с разрезом офиолитов на континентах. Если в приведенной цитате речь идет о «коре» как гипергенной оболочке или ее части, то это утверждение далеко не обосновано горнопородными данными. Так, на склоне Марианского желоба интервал драгирования в единственной точке 1403 Д-1 составляет 8400—8100 м, а на склоне Японского желоба также в единственной точке 1431 Д-1 — 7500—7150 м, причем поднятые обломки и брекчии пород офиолитовой ассоциации взяты без последовательного опробования склонов. Кроме того, в Японском троге в точке 1409 В-2 с глубины 4600—4400 м подняты глинисто-алевролитовые осадки с единственным образцом шпинелевого лерцолита, а ниже по склону с глубины 6600—6450 м — глинисто-алевролитовые осадки с редкими обломками габбро и диабазов. Эти четыре отдельные точки (пусть и растянутые драгированием в отрезки) не представляют, конечно, никакого «полного разреза». Если же речь идет о геофизической коре, то никаких данных о ее полном разрезе тоже нет, потому что все точки (или отрезки, вдоль которых протягивались драги в Филиппинском море) располагаются только в пределах всего лишь первого сейсмического слоя. В силу всех этих обстоятельств цитированное высказывание вызывает лишь глубокое недоумение. Аналогичные высказывания о «полном разрезе коры» в Индийском океане и Атлантическом океане основаны также на отдельных наблюдениях, не дающих права на подобные выводы.

А. В. Пейве и другие исследователи справедливо считают, что выяснение временных и генетических соотношений между членами офиолитового сообщества, происхождения и структурной позиции метаморфических пород, ассоциирующихся с офиолитами, и некоторых других вопросов должны дать ответ о месте формирования офиолитовых комплексов и привести к созданию общей геологической теории об истории формирования оболочек земного шара и типов движений внутри «тектоносферы». Выше уже указывалось на важность вскрытия и непосредственного изучения подошвы ги-

пергенной оболочки для совершенствования геологической теории. А ведь если считать, что все офиолитовые комплексы являются тектоническими отторженцами, происходившими примерно на этом уровне, то реконструкция их первоначального положения является радикальным средством решения поставленной задачи. Однако некоторые данные свидетельствуют не об аллохтонной природе офиолитовых пластин, а об их нормальном залегании в стратиграфическом разрезе. Так, в пределах одного и того же региона (Сахалин, Сихотэ-Алинь, Камчатка) устанавливаются сближенные в пространстве офиолитовые ассоциации нескольких стратиграфических уровней. На Сахалине — это верхний палеозой—нижний мезозой, юра — нижний мел, верхний мел; на Сихотэ-Алине— нижний — средний палеозой, верхний палеозой — нижний мезозой, нижний мел. На Камчатке офиолиты известны также на двух стратиграфических уровнях: верхняя юра — нижний мел (Анадырско-Корякская зона), верхний мел (Ветвейско-Камчатская зона). Структура и состав разновозрастных офиолитов в пределах одного региона близки. На Сахалине в пределах Восточно-Сахалинских гор ареалы распространения всех трех ассоциаций перекрывают друг друга. С другой стороны, эти ареалы в указанных регионах совпадают с полями развития геосинклинальных формационных комплексов, в которых большую роль играют глинисто-кремнистые и глинисто-граувакковые формации. Разновозрастность офиолитов доказывается взаимоотношениями с этими осадочными формациями, различиями в степени метаморфизма и данными радиологической геохронологии. Среди офиолитовых ассоциаций все чаще обнаруживаются ультраосновные эффузивные породы: авгититы, меймечиты, пикриты. Они слагают как шлировые обособления среди спилитов и диабазов, так и самостоятельные дайки и пластовые тела. Во включениях среди офиолитовых габброидов установлены силикатные расплавы.

Приведенные примеры нисколько не опровергают «аллохтонную» гипотезу; они только противоречат ее всеобщности. Дальнейшее изучение проблемы должно сопровождаться не конфронтацией, а суперпозицией представлений, высказываемых разными геологами.

Совершенно так же обстоит дело с попытками привязать нижнюю границу гипергенной оболочки к каким-либо геофизическим границам, в частности к поверхности М, Конрада и даже к верхней поверхности астеносферы. Подобного рода привязки могут иметь смысл только тогда, когда будет установлена геологическая природа этих границ. Для достижения такой цели возлагаются основные надежды на сверхглубокое бурение. Однако в Кольской скважине при пересечении ею границы Конрада не обнаружено какой-либо определенной ее петрографической выраженности. Скважина продолжает дальше углубляться в пределах гипергенной оболочки.

Из сказанного следует, что для установления нижней границы гипергенной оболочки намечаются три основных перспективных

направления: 1) сверхглубокое бурение, 2) усовершенствование методики геофизических исследований глубоких недр Земли и 3) изучение офиолитов. В освоении глубоких недр Земли эти направления исследований нужно рассматривать как передовую линию научного фронта.

По мнению Г. Хесса и Р. Дица [«Новая глобальная ...», 1974] большая часть океанического дна представляет собой почти обнаженную поверхность «первичной Земли». Аргументация Г. Хесса такая. «Базальтовый» слой земной коры обнаруживает в океанах удивительное единообразие мощности. Более 80 % сейсмических профилей показывает мощность 4,7±0,7 км. «Просто непостижимо, — пишет Г. Хесс, — чтобы изливающиеся на океаническом дне базальтовые лавы были столь единообразны по мощности, скорее можно было бы ожидать увеличения их мощности близ трещин или кратеров, из которых они извергались, и, напротив, сокращения мощности или полного отсутствия лав на большом удалении от кратеров» [1974, с. 12—13]. Насчет распространения базальтовых лав здесь все звучит убедительно, но «базальтовый» слой или слой «3» является скоростным телом, для которого горнопородная интепретация пока не может быть однозначной. Далее Г. Хесс указывает, что слой однообразной мощности мог сформироваться, если его основание является или являлось изотермой, на которой шла какая-то реакция или преобразование базальтов в эклогит, или гидратация оливина с превращением его в серпентинит при температуре 770 К. В силу отсутствия в океанических базальтах эклогитовых включений Г. Хесс склоняется к другому толкованию. Это, по его мнению, подтверждается драгированием со сбросовых уступов в океанах серпентинизированных перидотитов. Таким образом, по мнению Г. Хесса, «базальтовый» слой океанической коры является своего рода корой выветривания мантии («гидратизированный материал мантии»).

Р. Диц подошву базальтового слоя отождествляет с фазовым переходом эклогит — габбро, «поскольку у него больше сторонников» [«Новая глобальная...», 1974, с. 27]. «Базальтовый» слой (в сейсмическом смысле) Р. Диц называет «экзомантией» и считает его частью мантии. Отсюда вывод, что «поскольку океаническое дно покрыто лишь тонким слоем осадков, оно по существу представляет собой обнаженную мантию» [1974, с. 28].

Если принять концепцию Г. Хесса и Р. Дица, то гипергенная оболочка в океанах очень тонка, а «первичная Земля» почти полностью раскрыта. Это противоречит нашим представлениям, но не обязательно противоречит истине, которая может быть установлена только бурением (широкой и регулярной сетью скважин, поскольку дно океанов, вероятно, построено разнородно). Существеннее здесь методологическое замечание, связанное с принципом специализации. Земная кора, ее «гранитный» и «базальтовый» слои и мантия выделяются только как скоростные тела. Следовательно, если даже «базальтовый» слой океана интерпретируется в горнопородном смысле, как продукт изменения «первичной

Земли», и выводится из состава гипергенной оболочки, то он все равно остается в пределах земной коры в соответствии с сейсмологическими определениями, общепринятыми в настоящее время в геологии.

Отметим, что обоим фазовым вариантам истолкования подошвы «базальтового» слоя может быть противопоставлен «независимый» вариант, сводящийся только лишь к уровню напряженного состояния, совершенно не связанного ни с фазовыми, ни с химическими изменениями. Именно такие сейсмические границы, по-видимому, пересечены Кольской скважиной.

## Тектоническое расслоение литосферы

Этот подзаголовок соответствует названию книги [1980], в которой по-новому поставлены многие кардинальные вопросы глубинной тектоники. Декларированная во введении традиционная вольная трактовка поверхности М как раздела, к которому приурочены определенные горные породы (*офиолиты*) и тектонические явления (срывы), никак не снижает общей ценности этого выдающегося труда, охватывающего широкий диапазон явлений глубинной тектоники на уровне верхней мантии и низов земной коры. В этой книге обосновывается ведущая роль горизонтальных перемещений, в частности срывов, и с позиций геологических наблюдений и рабочих гипотез неприемлемость упрощенного ортодоксального варианта гипотезы литосферных плит, до сих пор бездумно поддерживаемого многими ведущими тектонистами. «Мы можем предполагать, — пишут авторы книги, — что не только литосфера как целое движется и дислоцируется дисгармонично по отношению к астеносфере, но и внутрилитосферные коровые и мантийные пластины и блоки также сминаются дисгармонично, образуя в конечном счете очень сложную внутреннюю тектоническую структуру литосферы в целом» [1980, с. 3]. При подготовке второго издания «Тектоники» (1983 г.) я был знаком с этой незаурядной книгой, в основе которой лежат оригинальные и тонкие геологические исследования и которая будет иметь большое значение для развития тектоники. Однако мне пришлось воздержаться от рассмотрения изложенных в ней материалов и концепций, так как для меня был неясен механизм преобладающих горизонтальных перемещений в теле Земли. Только в 1986 г. в результате совместных с Л. А. Масловым исследований роли твердых приливов в тектонических движениях Земли мне стало ясно, что такой механизм вполне возможен и что им могут быть объяснены горизонтальные подвижки на разных уровнях литосферы. В связи с этим книга «Тектоническая расслоенность литосферы» приобрела для меня особый интерес. Вполне понятны идеи авторов, связывающие эти перемещения с неоднородностями земной коры и мантии. Одной из таких наиболее выраженных неоднородностей является граница М, и хотя эту границу мы считаем подвижной относительно горнопородной структуры, но противоречия снимаются, как только

авторы переходят от собственно границы М к «послойно-дисгармоничной модели коры и верхней мантии» и указывают, что «отражением процесса расслоения и дифференцированного горизонтального смещения масс горных пород в пределах коры и верхней мантии является существование наряду с мелкими тектоническими формами глубинных шарьяжей, амплитуды которых достигают грандиозных размеров» [1980, с. 6]. Действительно, разработанные нами представления о механизме не противоречили бы даже существованию глобальных шарьяжей, если можно было бы допустить существование в недрах Земли сплошных оболочек пониженной вязкости, в которых не было бы латеральных неоднородностей.

Однако такие случаи надо считать очень маловероятными и практически нереальными.

Заслуживает внимания оценка роли волновода внутри коры в образовании срывов и шарьяжей, а также то, что континентальные литосферные плиты далеко не всегда представлены едиными жесткими массами, а часто расслаиваются на дифференцированно смещаемые пластины. Очень важно было бы выяснить связь между распределением напряжений и уменьшением с глубиной вертикальной и латеральной неоднородностей глубинных горизонтов и увеличением мощности пластин срыва с глубиной. С позиций обосновываемого нами механизма не вполне убедительно утверждение авторов, что «активное начало принадлежит процессу течения глубинных масс. Континентальные блоки в этих условиях, очевидно, по-прежнему следует рассматривать как «пассажиров», правда, не столь пассивных, как это считается в соответствии со стандартными плейттектоническими построениями» [1980, с. 16]. По нашим представлениям, «пассажиров» вообще нет, а вся толща мантии является с учетом различий в вязкостях одинаково восприимчивой к напряжениям и подверженной деформациям горизонтальных течений и сдвигов. Идея тектонической расслоенности литосферы, факты, лежащие в основе этой идеи, и предложенный общий механизм горизонтальных тектонических движений с учетом вертикальных и латеральных неоднородностей, способных трансформировать горизонтальные движения в вертикальные, а механическую энергию в тепловую, может лечь в основу создания частных «типовых, региональных» моделей, объясняющих конкретные тектонические рисунки и распределение геологических тел различных объемов, формы и состава. Совокупность таких частных моделей может привести к созданию и к постепенному совершенствованию теории формирования дислокаций в верхних оболочках Земли. В частности, в этой теории могут занимать достойное место локальные и преходящие спрединги (например, в случае формирования дайковых комплексов), описанные для разных районов Земли в рассматриваемой книге, как свидетельствующие о роли расширения в тектонических процессах. Такого рода структуры описаны М. С. Марковым для офиолитов Камчатского мыса, А. Л. Книппером для Лигурийских Альп и другими.

Большой интерес представляет мысль о связи некоторых спрединговых зон, не распространяющихся на большие глубины, с волноводами в их геологической трактовке.

### Геофизическая характеристика

Поверхность Мохоровичича (Мохо, М) выделяется по геофизическим, точнее, по сейсмологическим признакам. Она часто отождествляется с подошвой гипергенной оболочки или же с границей между различными по петрографическому составу внешними оболочками Земли, выделяющимися по геофизическим признакам в качестве коры и мантии. К границе М в представлениях ряда исследователей приурочена основная поверхность срыва в системе тектонически расслоенной литосферы. Ниже мы охарактеризуем М как геофизическую границу, пользуясь последним и наиболее полным обобщением И. А. Резанова и др. Отметим, однако, спорность *их основной предпосылки, что процессы, происходящие на этой* границе, являются определяющими при формировании структур земной коры. Намечается некоторый логически порочный круг, так как не только процессы, происходящие на границе, формируют структуру земной коры, но и формирование структуры земной коры определяет положение и характер этой границы. Еще не ясно, что является причиной и что является следствием. Вернее всего, как тектонические движения *и дислокации, так и облик* границы Мохоровичича объясняются некоторой общей причиной. Необходимо также напомнить, что при геологической интерпретации геофизических данных надо иметь в виду не только петрографически определенные породы, но и их физические свойства, отличные от исходных геофизических характеристик, толщи, дислокации, состояние флюидных систем, PT-условия.

Граница М не сводится к единому разделу, а представляет собой сложную латерально изменчивую систему. Так, украинскими геофизиками намечается пять типов М. Во-первых, резкая *сейсмическая граница со скачком скорости до 8,1 км/с*, характерная для структур Средиземноморского складчатого пояса с резко редуцированной корой. Во-вторых, существование наряду с четкой границей со скоростью 8,1 серии рассредоточенных отражающих площадок, или же «облака» таких площадок, среди которых невозможно однозначно наметить границу, что характерно для древней платформы. В-третьих, появление выше М мощного слоя со скоростями 7,4—7,7, причем *обе границы могут быть резкие*, нижняя граница может быть резкая, а верхняя слабая, верхняя граница может быть резкая, а нижняя слабая; это характерно для молодых развивающихся структур, рифтовых зон и т. д. В-четвертых, существование нескольких резких границ, что объясняется скачкообразным перемещением М по разрезу литосферы с сохранением при этом ее «пра-реликтов», причем считается, что дубликаты раздела М связаны с неоднократной тектонической перестройкой. В-пятых, предполагаемые латеральные перемещения

блоков с перекрытием сейсмических горизонтов; здесь, очевидно, речь идет о чешуйчатых надвигах границы М, что представляется весьма мало вероятным, если принимать во внимание природу М. Действительно, в таком случае мы имеем дело с чисто горнопородной интерпретацией М. С такой интерпретацией связаны многие вольные истолкования геологической природы слоев и границ, выделяемых по сейсмологическим данным, заключающиеся в приписывании им конкретных петрографических характеристик. Неправомерность такого подхода была уже давно установлена по несоответствию сейсмических разделов структуре докембийских толщ на Балтийском и Украинском щитах, а позднее подтверждена данными, полученными при бурении Кольской скважины, показавшими, что граница Конрада не разделяет толщ с различным петрографическим составом. Ее природа связана, по-видимому, с термодинамическим состоянием недр. Отметим в связи с этим, что Ю. Н. Годин и И. А. Резанов ввели представление о метаморфической природе нижнего, так называемого «базальтового», слоя земной коры; это было поддержано В. В. Белоусовым, выделившим в земной коре гранито-гнесовый, гранулито-базитовый и эклогитовый слои. Здесь обычное смещение признаковых пространств, вводящее очень большую путаницу в решение геолого-геофизических задач, связанных с внешними (кора, верхняя мантия) оболочками Земли.

Приведенное выделение пяти типов М, по-видимому, не является универсальным, так как разработано на регионально-ограниченном полигоне, не включающем такие важнейшие типы земных структур, как океанические плиты, срединноокеанические хребты и Тихоокеанский пояс.

Наряду с системой М как зоной со сложными сейсмологическими характеристиками следует рассматривать также выделяемые по сейсмологическим данным волноводы, являющиеся предметом широких дискуссий, развернувшихся в связи с тектоникой литосферных плит. Распространение волноводов, изменения их мощностей, положений в разрезе и скоростных характеристик — все это лежит в основе оценки возможности различных глубинных тектонических процессов, в частности движений надастеносферных толщ, преобразования тектонической энергии в тепловую, возникновения очагов магматизма.

По сводным данным И. А. Резанова и других исследователей, а также многочисленным другим научным разработкам этого вопроса следует, что астеносферные слои в толще Земли распределены неравномерно и сейсмические скорости в разрезах внешних земных оболочек, особенно верхней мантии, по вертикали меняются по-разному. Местами зафиксированы относительно неглубокие и маломощные волноводы (в Московской синеклизе на 10—20 км ниже М волновод мощностью 12—18 км со снижением скорости 0,2 км/с; в Печорской синеклизе этот волновод отсутствует; тонкий волновод на 20 км ниже М в Прикаспийской синеклизе), однако ощутимое влияние на тектонические процессы могут иметь

более глубокие и мощные волноводы. Они также распределены весьма различно. Под Канадским щитом волновода в мантии нет, а $V_p$ изменяются от 8,5 на М до 8,4—8,5 на глубине 200 км; под плато Колорадо скорость на М всего 7,8, что сохраняется до глубины 100—120 км, затем возрастает и на глубине 200 км сравнивается со скоростями Канадского щита; в Скалистых горах и под хребтами Кордильер скорость на М — 8,0, затем понижается до 7,5—7,6, затем снова повышается и на глубине 20 км сравнивается со значениями Канадского щита; под Береговым хребтом Кордильер волновод очень мощный (190 км) и низкоскоростной (7,2); на Камчатке ниже М скорости понижены, особенно под полосой действующих вулканов (до 7,3—7,6); под Южным Сахалином на М — 8,0, на глубине 70 км — 8,0 до 8,3, на 150—200 км очень слабовыраженное снижение скоростей; под Пиринеями волновод на 120—200 км; под Альпами два волновода на 70—100 км и 130—180 км: в Памиро-Гиндукушском районе волновод на 100—120 км, а под Гималаями 100—150 км; под профилем Памир — Байкал установлены на глубинах 100—200 км две не перекрывающие друг друга зоны пониженных скоростей—7,8—7,9 — Памиро-Тянь-Шанская и Саяно-Байкальская, и т. д. Рассмотрение этих параметров, принадлежащих к трем различным горным поясам, позволило И. А. Резанову прийти к обобщению, что в пределах этих поясов в верхних 100—150 км ниже М существуют слои с пониженными скоростями в виде линз толщиной 50—100 км с поперечными размерами 500—1000 км. Приведенные данные о распределении скоростей и положении волноводов свидетельствуют о значительных горизонтальных и вертикальных неоднородностях в мантии, чем обусловливается большая сложность распределения в мантии тектонических напряжений и движений. С такой сложностью, вероятно, связан прихотливый тектонический рисунок поверхности Земли и его эволюция. К сожалению, неоднородности в мантии пока осредняются только для очень больших площадей, что позволяет сопоставлять эти неоднородности со структурными элементами первого, лишь отчасти второго порядка. В связи с этим уточнение и детализация волновой картины мантии весьма актуальны, так как в перспективе поведут к установлению связей мантийных неоднородностей с конкретными структурными формами гипергенной оболочки и разработке глубинных критериев поисков минерального сырья. Здесь речь идет о месторождениях на доступных для разработки глубинах, о месторождениях, закономерности размещения которых устанавливаются прослеживанием глубинных мантийных источников того или иного полезного ископаемого.

Для дальнейших разработок в области глубинных тектонических процессов весьма интересно вводимое И. А. Резановым понятие «емкости волновода» (произведение величины снижения скорости на объем, в пределах которого скорость понижена). Емкость может характеризовать вклад волновода в тектонические процессы в мантии. Представляется, что сейчас надо считаться с прерывистым распространением волноводов, а следовательно, и

астеносфи, как с установленным фактом. Это накладывает серьезные ограничения на рассматриваемую нами ниже концепцию тектоники литосферных плит.

## Петрографический аспект проблемы

Очень часто геологи — специалисты по горным породам — относятся к системе сейсмологических слоев и границ как к чему-то заранее данному и «навешивают» на них свои петрографические и петрологические конструкции. Однако некоторые из таких геологов относятся к сейсмологическому материалу по существу и истолковывают сейсмологическую структуру с позиций своих научных подходов. В первом случае имеет место как бы «перескакивание» петрографии на сейсмологию, во втором случае — научное петрографическое осмысливание сейсмологических данных.

Одной из важнейших особенностей геотектонических взглядов Г. Д. Афанасьева было то, что он шел от петрографии к геофизике. Будучи петрографом, тонко разбираясь в составе, структуре и генезисе горных пород, он не мог на основании одного единственного свойства горной породы перейти к выделению крупнейших геологических формирований, таких как «гранитный» и «базальтовый» слои. На пути своих построений он встречал большие трудности и сложности, которые не позволяли ему подойти к этому вопросу с такой наивной простотой, которая, как казалось, сразу все проясняла и, как оказывалось, все безнадежно запутывала. Речь идет о совершенно не оправдавших себя «точных» горнопородных определениях сейсмических слоев и границ. Не счесть заблуждений в геотектонических построениях, возникших именно на основе этой «точности». И даже сейчас, когда все как будто бы стало более ясно, от сейсмически определенной границы (зоны) Мохоровичича в представлениях некоторых геологов отрываются петрографически определенные офиолитовые пластины; с этими представлениями связаны некоторые идеи о геологическом (горнопородном, геосинклинальном) развитии всей земной коры в целом, о геологических соотношениях континента и океана и т. д.; пишут о тонущих в мантии глыбах эклогита, о растяжении, утонении и раскалывании коры.

В содружестве с физиками и геофизиками Г. Д. Афанасьев провел ряд оригинальных исследований физико-механических свойств горных пород различного происхождения, при различных давлениях и температурах. Результаты исследований позволили ему сформулировать очень важное положение о том, что геофизические («скоростные») границы разделов в литосфере обусловлены не сменой составов горных пород по вертикали, а главным образом изменением их физико-химических свойств и появлением новых фазовых состояний.

Рассмотрим пять высказываний Г. Д. Афанасьева по этому вопросу.

1. Геофизический материал о скоростях имеет лишь косвенный

минералого-петрографический смысл. Земная кора и верхняя мантия состоит из мозаики интрузивных, метаморфических, осадочных и вулканогенных пород. *Маловероятны представления* о том, что разрыву в физических свойствах, например в скоростях, соответствует разрыв химического состава. Поэтому нельзя названия «гранитный», «базальтовый», «перидотитовый» понимать в буквальном смысле (Б. Гутенберг и Ф. Берг еще в 1954 г. указывали, что к интерпретации поверхности М как к границе разрыва химических свойств пород следует относиться осторожно). Всем сейсмическим границам в низах земной коры *и верхней мантии, в том* числе и разделу Мохо, отвечает скачок не в химических свойствах, а скачок в физических свойствах, связанный с ликвидацией поровых и ультрапоровых пустот и трещин, а также с фазовыми переходами в режиме высоких давлений и больших температур. Скорость распространения упругих волн в широком классе метаморфических пород одинакова со скоростями в базальтах. Сравнимы и их плотности. Поэтому нет особых оснований низы земной коры океанов, характеризующиеся скоростями 6,4—7,6 км/с, считать сплошь состоящими из базальтов или других пород основного состава. *Вряд ли горизонтальные или* субгоризонтальные сейсмические разделы, прослеживаемые в земной коре и верхней мантии, можно рассматривать как стратифицированные границы, вероятнее всего, они соответствуют, как указывалось, постепенному или более-менее резкому изменению физического состояния глубинного вещества.

Сейчас практически никто упоминавшимся выше сейсмическим слоям не придает прямого минералого-петрографического смысла. Для большинства исследователей в настоящее время очевидно, что термины «гранитный», «базальтовый», «перидотитовый» слои являются ни более ни менее как символами типа буквенных (A, B, C, D), или цифровых (I, II, III . . . ), используемых для обозначения слоев в мантии Земли при интерпретации сейсмологических материалов. Широко распространено сейчас также мнение о том, что литосфера, по-видимому, состоит в основном из метаморфических пород, в которых горизонтальные границы раздела в геологическом понимании отсутствуют, а сейсмические границы отражают *постепенное или скачкообразное* изменение физических свойств с глубиной. Такая среда благоприятна для формирования рефрагированных сейсмических волн, интерпретация которых как головных приводит к получению субгоризонтальных сейсмических слоев.

Термином «земная кора» Г. Д. Афанасьев обозначал область активных экзогенных процессов, мозаичную по строению и в основном состоящую из силикатных пород, простирающихся до глубин не менее 60—70 км, *обозначенную нами как «гипергенная* оболочка». Ее нижняя граница нигде не определена и, по-видимому, никак не связана с поверхностью М.

2. Об учете различных петрографических и петрофизических свойств при интепретации геофизических данных. Известно, что значения скоростей сейсмических волн зависят от петрографиче-

ского состава горных пород, степени их уплотнения и метаморфизма в условиях высоких давлений и температур. Зачастую весьма узкому диапазону сейсмических скоростей соответствует широкий ряд горных пород. Например, скорости в доломитах и известняках мало отличаются от скоростей в габбро. Известно также, что скорость распространения упругих волн сильно различается по простиранию и вкрест простирания структур, зависит также от ориентировки минералов в горных породах и кристаллов в минералах. Величины скоростей сейсмических волн зависят от состояния поровых пустот в горных породах, их трещиноватости. Если массив горных пород длительное время находится под воздействием высоких давлений и напряжений, то поровые пространства и трещиноватость в них уменьшаются и скорости распространения упругих волн увеличиваются.

Большое значение для правильной интерпретации сейсмических материалов имеют лабораторные данные о скоростях распространения сейсмических волн, измеренных при высоких давлениях, близких к тем, в которых залегают горные породы.

3. О возможности разделения земной коры на континентальный и океанический типы. Земная кора делится на два типа: континентальный и океанический, отличающихся принципиальными различиями в их строении, что неправомерно или, во всяком случае, не доказано. С этим можно соглашаться или не соглашаться, но следует отметить, что эта проблема не потеряла своего значения до настоящего времени, и сейчас, по-видимому, находится в стадии решения. Существуют типично «континентальные» породы гранито-гнейсового ряда на островах, расположенных в глубоководных частях океана, таких как Сейшельские, Гуам, Баунти, Фиджи, Тасмания. Возраст этих пород на Сейшельских островах определен как рифейский (650 млн. лет). Метаморфические диабазовые и кератофировые эффузивы Карлсбадского и Срединно-Атлантического хребтов, а также кислые образования перечисленных выше островов свидетельствуют об участии в их строении достаточно древних, значительно метаморфизованных формаций геосинклинального типа. Щелочные базальтоиды плиоценового или еще более молодого возраста известны в Приморье (Советский Дальний Восток), плиоценовые субщелочные базальтоиды выявлены на оз. Балатон в Венгрии и на Северном Кавказе.

Кора континентов и океанов не имеет принципиальных различий по своему вещественному составу, и нет специально океанических и специально континентальных типов горных пород. Отсюда следует вывод о единстве земной коры материков и океанов. В связи с этим необходимо пересмотреть многие гипотетические представления современной геологии.

Некоторые из важнейших данных по геологии северо-западной части Тихого океана согласуются с его представлениями об однотипности земной коры континентов и океанов. На возвышенности Обручева, вале Зенкевича, к востоку от зоны сочленения Курило-Камчатского и Японского глубоководных желобов, т. е. в преде-

лах типично океанических структур, Б. И. Васильевым при драгировании была собрана обильная коллекция пород «континентального» облика, таких как гнейсы, гранитоиды, эвгеосинклинальные кремнисто-вулканогенно-осадочные образования, субаэральные кислые эффузивы и их туфы, наземные вулканогенно-осадочные породы широкого возрастного диапазона.

А. М. Смирнов, рассмотревший обширный материал по Тихому океану, указывал, что породы «континентального» облика встречаются в пределах ложа океана и на некоторых его островах. К ним относятся гранитоиды и метаморфические породы, типичные для фундаментов древних платформ, интрузивные и эффузивные породы среднего, кислого и основного состава с высоким содержанием калия.

Н. К. Булин считает, что широко распространенное мнение о тонкой океанической коре является ошибочным, так как оно основано на не детальных наблюдениях. На самом деле ее толщина достаточно велика и в ряде пунктов приближается к мощности коры континентального типа.

Известно также, что глубоководным бурением в ряде пунктов Мирового океана, например к востоку от северной оконечности о-ва Хонсю, вскрыты мелководные и наземные образования.

4. О сомнительности описания «выходов» верхней мантии в океанах. Интерпретировать как выходы, хотя и аномальной, но верхней мантии (может быть, измененной вторичными процессами) участки океанического дна или срединных океанических хребтов, характеризуемых скоростями продольных волн ($V_p$) порядка 7,3 и даже 7,2 км/с, в строении которых участвуют серпентиниты, нет никаких оснований. Если поступать таким образом, то за выходы мантии или за породы, принесенные из мантии, следует считать все разновозрастные серпентинитовые массивы Кавказа, Урала и других складчатых областей. Такая постановка вопроса в принципе не исключена. Ни один геолог или геофизик не держал в руках породу, добытую ниже современного раздела Мохоровичича ни в пределах континентов, ни из океанического сегмента Земли. С сожалением приходится констатировать, что попытки принимать все находки ультраосновных пород за выходы мантии, в том числе и за «следы» палеозон Беньофа, продолжаются и до настоящего времени. То же самое следует сказать об эклогитах, которые также нередко принимают за породы мантии. Эклогиты — это метаморфические породы, образовавшиеся главным образом из ультрабазитов, габброидов или карбонатных пород при воздействии на них регионального метаморфизма или активного влияния интрузий натриевых гранитов.

5. О возможных смещениях поверхности М вверх и вниз в разрезе литосферы. Существует много геологических фактов о кайнозойском или даже четвертичном опускании под дно морей пограничных с последними участков континентов с превращением геофизических характеристик коры этих участков в характеристики, близкие к океаническим. Этот процесс направлен в сторону

резкого уменьшения мощности коры за счет резкого сокращения толщины «осадочного» и «базальтового» слоев и исчезновения «гранитного». В то же время многие острова, расположенные в глубоководных частях океанов, как указывалось выше, сложены типично сиалическими породами, включая кристаллические сланцы и граниты. Очевидно, эти породы являются останцами некогда широко распространенной в пределах современных океанов коры континентального типа.

В пределах древних структур с возрастом 3 млрд. лет и более и горно-складчатых областей земная кора в течение всей истории их геологического развития вряд ли оставалась стабильной по мощности и равной современной, т. е. 35—60 км. Она, вероятно, варьировала в зависимости от характера физико-химических процессов, происходящих в недрах в те или иные интервалы геологической истории.

## ГЕОТЕКТОНИЧЕСКИЕ ГИПОТЕЗЫ

Остановимся на некоторых геотектонических гипотезах, отдавая предпочтение новейшим. В геодинамических представлениях исключительное (В. П. Мясников и В. Е. Фадеев) или преимущественное (Е. В. Артюшков) место уделяется внутриземным физическим механизмам. Концепция тектоники литосферных плит принята за основу кинематики тектонического процесса. Поскольку эта концепция принимается часто как новая глобальная тектоника, оказывается существенным предпослать ей характеристику предшествующих глобальных геотектонических представлений, таких как, например, контракционная гипотеза. А если мы рассматриваем взгляды, связанные с идеями сжатия Земли или сохранения ее постоянного объема, то для полноты картины важно обратить внимание на еще два варианта — пульсирующей (гипотеза Е. Е. Милановского) и расширяющейся Земли. Геодинамическая гипотеза А. И. Суворова, в отличие от первых двух гипотез, основана почти исключительно на геологических данных.

Ни одна из указанных гипотез не близка к окончательному решению вопроса о природе тектонического строения и закономерности тектонического развития Земли, но все они в совокупности дают пищу для дальнейших размышлений. Почти все гипотезы совершенно недостаточно учитывают космический фактор в тектонической эволюции Земли, т. е. страдают неоправданным геоцентризмом.

### Гипотеза эволюции Земли В. П. Мясникова и В. Е. Фадеева

Эта модель построена математиками для Земли как двухэлементного (ядро, мантия) планетного тела без привязки к очень тонкой (менее 1 % радиуса Земли) коре и запечатленного на ее поверхности геологического рисунка. Целью авторов было рассмотреть на уровне современных физических знаний возможные модели эволюции Земли и выбрать из них наиболее вероятную и согласующуюся с фактическими (в том числе эксперименталь-

ными) данными. В основу разработок кладется теория конвективных движений вещества. Большая длительность геологических процессов в сочетании с относительно быстрым установлением локального термодинамического равновесия заставляет обратиться к изучению процессов эволюции пространственной неравновесности вещества в недрах Земли. В качестве неравновесных свойств здесь рассматриваются вязкость, теплопроводность и т. д., т. е. свойства, проявляющиеся только при временных изменениях.

Реологические свойства мантии включают как упругие (быстрые реакции на сейсмические процессы), так и необратимые деформации, обеспечивающие медленное изменение напряжений, соответствующие скоростям геологических процессов на поверхности Земли; в накоплении таких деформаций главную роль играет ползучесть, сходная с наблюдаемой в металлах. Основываясь на экспериментальных данных и теоретических расчетах, делается основной реологический вывод, что горные породы при постоянных внешних нагрузках можно рассматривать как вязкие жидкости при всех температурах и давлениях в мантии. Однако при анализе движений у поверхности Земли и в зоне перехода от мантии к ядру может быть существенным учет релаксационных процессов и моделей вязкоупругого поведения вещества.

Для суждения о физико-химических превращениях в мантии геологических законов нет, и поэтому выход заключается в применении физических моделей. Экспериментальные данные говорят о вероятности существования зон полиморфных фазовых переходов. Характер таких фазовых переходов должен меняться с изменением химического состава мантии в связи с эволюцией планеты, т. е. должен быть тесно сопряжен с эволюцией химического и фазового состояния ядра. Однако существующие физико-химические схемы образования ядра Земли далеко не однозначны и очень противоречивы (отсутствуют необходимые экспериментальные данные). Отсюда — важность построения строгой механической модели переноса вещества в глубинах Земли; в пределах такой модели можно было бы раскладывать различные физико-химические и геолого-геофизические «пасьянсы» и получать косвенные представления о возможной физико-химической эволюции. Основой механической (динамической) модели являются условия возникновения и свойства конвективных движений. Простейшей является задача о конвекции в плоскопараллельном зазоре, на противоположных границах которого поддерживается постоянная разность температур, а сила тяжести направлена перпендикулярно к ограничивающим плоскостям. Возникновение конвекции связано с критическими значениями безразмерного параметра Рэлея, который прямо пропорционален коэффициенту объемного расширения среды, ускорению силы тяжести, кубу толщины зазора и разности температур на ограничивающих плоскостях и обратно пропорционален коэффициенту кинематической вязкости и температуропроводности. Анализируя характер решений, определяемых числами Рэлея и Прандтля, можно определить в системе координат,

построенной на этих числах, области отсутствия конвекции, наличия двумерных валов как основной формы конвекционного течения, стационарной трехмерной конвекции (в очень ограниченном диапазоне чисел Рэлея), нестационарной трехмерной конвекции и турбулентных течений. Характерными режимами являются двумерные валы и нестационарные трехмерные движения. Процессы эти во времени нерегулярны и проходят локальными и значительно реже глобальными вспышками. Такое основанное на математических расчетах представление о сложности конвекционных течений в недрах Земли не может быть оставлено без внимания при исследовании темпов локальной и глобальной периодичности, а также пространственного распределения тектонических движений на протяжении геологической истории, реконструируемой по наблюдениям в гипергенной оболочке. Мало того, при решении всех этих вопросов в локальных и глобальных масштабах могут оказаться весьма полезными более конкретные расчеты в рамках теории, построенной В. П. Мясниковым и В. Е. Фадеевым. Думается, что уже в ближайшее время такие расчеты могут быть приняты в тектонических исследованиях.

Гидродинамическая модель эволюции Земли при неопределенности начального распределения вещества и состояния геофизических полей основывается на вполне правомерном допущении, что первичные неоднородности должны были бы вызывать конвекционные процессы, которые ведут к расслоению Земли на концентрические оболочки, в первую очередь мантию и ядро, что соответствует общим свойствам планет. Такая теория должна объяснять характер переходов между оболочками и обязательно включать описание термической истории Земли. Избранный авторами метод разложения геофизических полей, названный асимптотическим методом, позволяет ввести понятия о быстром (конвекция и, следовательно, тектонические движения) и медленном (изменения сферически-симметрических составляющих геофизических полей, расширение и сжатие Земли) временах, а также прийти к выводу о существовании ядра планеты и ее расслоения на оболочки с постоянным в каждой из них химическим составом. Доказывается необходимость существования верхнего термически неравновесного слоя (до 100 км). Отмечается весьма важное обстоятельство, которое следует правильно оценить при «стыковке» рассматриваемой глубинной модели с геологическим строением и развитием гипергенной оболочки. А именно: реология поверхностного пограничного слоя, находящегося при относительно низких температурах, может уже существенно отличаться от реологии вязких жидкостей, а зависимость реологических характеристик от температуры может существенно сказаться на поверхностных движениях.

Вопрос о «стыковке» моделей надо дополнить представлением о «стыковке» планетарных физико-математических и геолого-геофизических подходов. Авторы гипотезы выводят из своей теории распределение теплового потока на поверхности Земли, а также

приходят к заключению о значительном превышении скорости горизонтальных движений относительно скоростей вертикальных движений. Тем самым намечается возможность проверки наблюдениями теории, поскольку данные приповерхностных измерений тепловых потоков и скоростей движений, устанавливаемые повторными нивелировками и триангуляциями, относятся к фундаментальным геологическим фактам и должны быть учтены при построении гипотезы. Нельзя сказать, что выводы авторов неправильны, но они могут оказать гипнотизирующее влияние на геологов, если они будут считать те факты, которые соответствуют данной гипотезе, существенными, а те, которые ей не соответствуют, несущественными. Это можно понять, если провести параллель между «физико-математическим богом» и богом средневекового христианского населения, которое во многих естественных и общественных явлениях видело проявление его воли.

То же можно сказать об утверждении «лоскутности» астеносферного слоя, которое сейчас достаточно хорошо обосновано геофизическими данными и на которое можно было бы уже опираться в построении теории. Заслуживают внимания замечания авторов гипотезы об условности деления поверхностных зон планеты на литосферу и астеносферу, на удобство замены «астеносферы» *астенозонами*, возможность объяснения астеносферы (астенозон) положением участков дифференциации вещества планеты.

Путем математических выкладок, основанных преимущественно на анализе состояний и процессов, происходящих на границе ядро — мантия, авторы гипотезы приходят к выводу, что на некоторой стадии существования планеты происходит опускание тяжелого вещества в глубь Земли. Перемешивание конвекцией поддерживает адиабатический градиент температуры и постоянство средней концентрации вещества в ядре и мантии с разогревом ядра за счет энергии, привносимой тяжелой компонентой. В результате планета приходит в седиментационное равновесие, характеризующееся конечным размером ядра. Формирование ядра может начаться с поверхности Земли или же в некотором промежуточном слое. Диаметр ядра со временем уменьшается. При таком механизме термическая энергия Земли полностью может быть отнесена за счет гравитационного фактора.

Расчеты авторов гипотезы показывают, что для описания эволюции Земли представления, основанные только на термической конвекции, недостаточны и что необходимо учитывать многокомпонентность состава планет, физико-химические превращения вещества в диффузию. После образования планеты в ее недрах начинается процесс расслоения, обусловленный разделением вещества в ее гравитационном поле. Формируются седиментационный фронт и ядро планеты, что ведет к концентрации тяжелых компонентов в ядре, уменьшению его размеров и нагреванию. С разогреванием может быть связано «поджигание» экзотермических химических реакций. Химические реакции могут активизи-

ровать процессы конвекции и вызывать тектоническую активность на поверхности Земли. Гипотеза В. П. Мясникова и В. Е. Фадеева не оставляет без внимания кардинальный вопрос о соотношении конвекции и сферически-симметрической структуры в процессе эволюции Земли. Именно структура и свойства конвекционных движений обусловливают сферически-симметрическую структуру и ее изменения, причем намечаются пути дальнейших теоретических исследований этого процесса и перспективы конкретизации результатов.

Важным достоинством гипотезы является ее масштабность. В ней рассматриваются самые общие следствия, вытекающие их двухкомпонентной структуры Земли. Ведь, действительно, только граница ядро — мантия наиболее четко обозначена в Земле на основе сейсмологических данных; остальные же границы расплывчаты и менее уверенно проводятся. Такой подход позволяет авторам гипотезы прийти к несколько неожиданному заключению о развитии ядра от поверхности Земли книзу. Существует и альтернативная точка зрения о формировании ядра снизу вверх (разрастание) за счет осаждения тяжелого вещества из мантии. Например, О. Г. Сорохтин считает, что под нисходящими потоками мантийного вещества нижние пограничные слои мантии растягиваются, а по возникающим микротрещинам и межгранулярным пространствам окислы железа присоединяются к веществу ядра. Так рисуется рост ядра за счет мантии, причем используются такие физико-химические и структурно-тектонические детали, которые невозможно «разглядеть» (я имею в виду и теорию, и эксперимент, и даже интуицию) с поверхности Земли. В приведенном сравнении гипотеза В. П. Мясникова и В. Е. Федеева выглядит в выгодном свете. Недостатком в ней (вернее, в посвященной ей книге) является «стыковка» физической конвекционной картины, данной для планеты в целом, с прихотливой и тонкой геологической структурой поверхностной пленки Земли. Эта «стыковка» проводится на ощупь без всякой попытки теоретического обоснования связей между глубинными физическими и поверхностными геологическими данными. Под таким теоретическим обоснованием подразумевается равноправное использование физической и геологической теории, по крайней мере, для приповерхностных слоев Земли, для которых имеются геологические данные. Физические планетарные и геологические построения должны находиться в отношениях «обратной связи».

### Геодинамическая гипотеза Е. В. Артюшкова

Если у В. П. Мясникова и В. Е. Фадеева в основе построений лежит физико-математическая теория,то у Е. В. Артюшкова проблемы динамики (или эволюции) Земли рассматриваются существенно иначе. Первый подход в геологическом смысле несколько абстрактен; в его основе находится планета как таковая (и даже протопланетное облако), а путь построения строг и логичен. Геологические данные здесь не столько используются, сколько «ока-

зываются соответствующими». При втором подходе привлекаются также геологические идеи и физические данные, полученные на поверхности Земли.

***Течение, уплотнение и разуплотнение.*** Выше мы уже обращались к понятиям «гипергенной оболочки» и «первичной Земли», «земной коры» и «мантии», «литосферы» и «астеносферы». Первую пару понятий можно назвать историко-геологической, вторую — сейсмологической (или физической), третью — реологической (или механической). Все эти три пары понятий характеризуют обособление наружной оболочки Земли от ее глубоких недр. Недостает четвертой пары понятий — петролого-геохимической; по этой причине в петролого-геохимических моделях используются готовые структурные каркасы других специализаций, соответствующих трем перечисленным парам понятий, что может привести к смещению признаковых пространств и к заблуждениям.

Если «региональные» формы рельефа хорошо компенсируются изостазией, а «локальные» (имеющие горизонтальные размеры до 100 км) компенсируются плохо, то это говорит о высокой вязкости самого верхнего слоя Земли (литосферы) и низкой вязкости вещества мантии на небольших глубинах (астеносферы). Земная кора (литосфера) приспосабливается к изменяющейся нагрузке рельефа за счет вертикальных смещений, которые «неизбежно сопровождаются притоком или оттоком вещества мантии, которое для этого должно обладать достаточной текучестью» [Артюшков, 1979, с. 12]. Вот это «неизбежно» уже и настораживает, потому что в древе глубинной тектоники очень много логических возможностей.

Так, в качестве альтернативы текучести можно указать на уплотнение и разуплотнение. Ведь рельеф может быть связан (точнее, взаимозависим) с вероятными физико-химическими превращениями вещества, например, на границе коры и мантии (или литосферы и астеносферы). Представления об этих процессах только лишь гипотетичны, так же как и представления о течениях в мантии (астеносфере), хотя и те и другие в какой-то степени верны и дополняют друг друга. Учитывая резкий перепад скоростей упругих волн на поверхности М, можно думать и о значительных фазовых и химических превращениях на этой границе, об уплотнении вещества нижней части земной коры и «поглощении» ее мантией или, наоборот, о разуплотнении вещества мантии и присоединении его к земной коре.

Так, утонение земной коры, связанное с погружением верхней ее поверхности (рельефа) и встречным поднятием границы М, свойственно многим мезо-кайнозойским впадинам континентов, внутренних и окраинных морей (Западно-Сибирская геосинеклиза, Прикаспийская синеклиза, Днепровско-Донецкая впадина, Черноморская впадина, Курильская, Япономорская котловины и многие другие). Отдавая должное участию в изостазии реологических процессов в астеносфере, следует учитывать, что подъем поверхности М может отражать физико-химические преобразования, по-

скольку эта поверхность, как правило, лежит в зоне высокой вязкости, т. е. в литосфере. Такой физико-химический процесс может быть истолкован в соответствии с представлениями В. В. Тихомирова и многих других геологов и геохимиков об автономном образовании впадин, связанном с метасоматической базификацией земной коры. Эклогитизация базальтов, судя по экспериментальным данным, возможно, охватывает толщу мощностью около 30—35 км и сопровождается сокращением объема на 15 %, что соответствует глубине впадин 5 км. Такой глубины впадины на верхней поверхности Земли могут образовываться за счет данного процесса. Подобного же рода рассуждения можно отнести и к «корням гор», а также повышенной мощности коры под платформенными поднятиями; речь будет идти, соответственно, о процессах разуплотнения. Можно было бы предложить такую дуалистическую гипотезу: формы рельефа изостатически компенсируются на поверхности (вернее, в зоне) М за счет физико-химических изменений вещества, а в астеносфере — за счет вязкого течения. Однако мы отнюдь не настаиваем на этой, а равно на какой-либо другой гипотезе, так как, опускаясь в недра Земли ниже глубин, освещенных бурением, и высказывая соответствующие этим глубинам идеи, исследователи могут получать большое эстетическое удовлетворение, что нельзя считать бесполезным. Именно эти впечатления приводят нас к разработке теорий и постановке экспериментов, позволяющих, исключив фантастические представления, идти в исследовании глубоких недр Земли путями, ведущими к вероятным, обоснованным и непротиворечивым, но не единственным научным решениям.

На пространственном и временном распределении постгляциальных поднятий на Балтийском и Канадском щитах Е. В. Артюшков основывает представления о вязкости и мощности астеносферы. По формуле Херринга, вязкость вещества на глубинах мантии была оценена в $10^{13}$—$10^{17}$ Па·с, что соответствовало бы возможности геологически мгновенного (1 год) восстановления гидростатического равновесия. Приводится другое (по В. А. Магницкому) значение вязкости для этих глубин в $10^{21}$—$10^{23}$ Па·с, что ближе к данным, «полученным из анализа послеледниковых поднятий» [Артюшков, 1979, с. 15]. Учитывая темпы и распределение постгляциальных поднятий по площади и вводя ряд допущений (например, плотность верхней мантии на уровне астеносферы постоянная и равна 3,35), Е. В. Артюшков получает вязкость $2—7 \cdot 10^{19}$ Па·с. При этих расчетах принимается во внимание только течение, т. е. рассматривается крайний вариант в ряду течение — уплотнение. Отсюда утверждение, что вязкость мантии, расположенной ниже астеносферы, по крайней мере, на 2—3 порядка больше вязкости астеносферы, а следовательно, «вязкое взаимодействие литосферы с основной частью мантии оказывается слабым». Из этого вывода, в свою очередь, закономерно следует другой теоретический вывод, что «вертикальные движения литосферы возникают только, когда поднимающиеся из мантии

крупные массы легкого нагретого материала подходят вплотную к этому слою» [Артюшков, 1979, с. 30]. Отметим, что, взяв под сомнение сущность этого вывода, мы можем в соответствии с правилами импликативного суждения допустить его истинность, однако сказать, что он «верен» или «неверен» мы не можем. Однако изучение дегляциации щитов является у нас чуть не единственным способом установления вязкости астеносферы, поскольку на других континентальных и океанических площадях непосредственная оценка вязкости мантии (астеносферы) невозможна. Но вот в построение геодинамической модели (гипотезы) вовлекаются новые фактические данные — данные сейсмологии. Графики вертикального распределения скоростей продольных волн показывают невыраженность слоя пониженных скоростей на платформах, за исключением Канадского и Балтийского щитов, где он тонок — имеет мощность 15—20 км и располагается на глубинах 60—80 км; зато он достаточно развит в областях тектонической активности, где скорости являются наименьшими (Карпаты, Кавказ, Памир, Байкал, Дальний Восток).

**О сплошном или несплошном распространении астеносферы.** Предположение о существовании астеносферы вытекало из гипотезы изостазии и подтверждено сейсмическими данными (волноводы, слои пониженных скоростей). Вязкость астеносферы определяется анализом современных и новейших тектонических, преимущественно постгляциальных, движений. Геоэлектрические и геотермические расчеты относятся к косвенным подходам в определении состояния астеносферы, ее положения и мощности в помощь сейсмическим данным. Так устанавливается приуроченность хорошо выраженного слоя пониженных сопротивлений и высокой электропроводности мантии (астеносферы) и высокого теплового потока к областям современной или новейшей тектонической активности; в пределах СССР — это перечисленные выше районы, в океанах — срединноокеанические хребты.

Астеносфера — слой сейсмологической специализации, и недаром поверхность ее именуют иногда поверхностью Гутенберга.

Рассмотрим на базе приводимых в монографии Е. В. Артюшкова данных и соображений важнейший для тектоники вопрос о сплошном или несплошном распространении астеносферы. Отметим, что понятие литосферы в принимаемом сейчас смысле связано с понятием астеносферы. Б. Гутенберг связал определение литосферы с астеносферой. В местах отсутствия астеносферы нет критериев для выделения нижней границы литосферы, которая (или, точнее, то, что могло бы подразумеваться *под литосферой*) сливается с более нижними частями верхней мантии.

Утверждение автора, что «если ограничиться только сейсмическими и геоэлектрическими данными, то можно было бы предположить, что астеносфера существует лишь в областях, где выражены слои пониженной скорости и повышенной электропроводности. Однако, как показано в разделе 12 В, Е, астеносфера хорошо развита и там, где эти *слои отсутствуют*» [*Артюшков*, 1979,

с. 45]. Но в разделах 12 В, Е речь идет о Фенноскандии и Канаде, в которых, как следует из рис. 1 (9) той же работы, астеносферный слой (пониженных скоростей) присутствует, хотя и тонок. Налицо противоречие, которое трудно понять. Вряд ли можно согласиться с утверждением, что «волновод необязательно совпадает по глубине с астеносферой» [Артюшков, 1979, с. 47]; «ведь волновод — важнейший признак астеносферы, причем единственный, по которому как-то можно определить ее границы. Неясно далее, как для платформенных областей, где на кривых слой *пониженных скоростей практически не выражен*» [1979, с. 37], «мощность астеносферы, определяемая по скоростям упругих волн, оказывается приблизительно равной 100—120 км» [1979, с. 47].

Остается неясным, как можно было определить мощность астеносферы по скоростям упругих волн, если слой пониженных скоростей там практически не выдержан. Очень любопытно дано определение мощности литосферы на западе Тихого океана; она *определяется в предположении существования субдукции распро*странением очагов землетрясений в сейсмофокальной зоне, наклоненной под континент. Ширина этой сейсмофокальной зоны (70 км) и считается мощностью литосферы. Может быть, здесь мы имеем дело не с литосферой, а с зоной критического напряженного состояния коры и мантии, не имеющей прямого отношения к слоистой структуре Земли. Исходя из предположений Е. В. Артюшкова, литосферу для данного района можно было бы определять только как сейсмофокальную зону. Но разве это литосфера? Зато определена возможная мощность литосферы по неотектоническим данным в районе знаменитого Бонневильского озера в Скалистых горах. Здесь в тектонически активном районе мощность литосферы определяется в 20 км.

Приведем более детальные данные И. А. Соловьевой о волноводах, которые, на наш взгляд, являются единственным надежным диагностическим признаком астеносферы. «Волноводы в разных районах имеют различную мощность, располагаются на разных *глубинах и характеризуются довольно широким диапазоном* скоростей» [«Проблемы...», 1981, с. 74]. Мощность волноводов от 2 до 30 км, причем волноводы до 5 км устанавливаются только тщательными исследованиями. Выводы о площадном распространении волноводов — преждевременны. «Не исключено также, что наиболее мощные волноводы, выделяемые сейчас как единый слой мощностью 10 км и более, в действительности обладают тонкой внутренней структурой, например, представляют собою чередование слоев с нормальными и пониженными скоростями...» [«Проблемы...», 1981, с. 75]. Волноводы выделяются в земной *коре и часто тяготеют к основным сейсмическим разделам* (Конрада, Мохоровичича) или располагаются внутри слоев; кровля волноводов может находиться на глубинах от 6 до 31 км. Основной мощный волновод располагается в верхней мантии на глубине 70—200 км; он выделен Б. Гутенбергом как зона затухания волн. Волноводы, выделяемые по поперечным и продольным вол-

нам, не совпадают. Волноводы, выделяемые по поперечным волнам, находятся под океанами на глубине 70—200 км, а под континентами — на глубине 100—350 км. Хотя существует мнение о почти повсеместном распространении мантийных волноводов, но, по-видимому, дело обстоит значительно сложнее. Они не устанавливаются под срединноокеаническими хребтами и молодыми складчатыми зонами (что, впрочем, иногда оспаривается); местами они «расщеплены» на 2—4 более тонких волновода (полиастеносферная модель Р. З. Тараканова, работы А. А. Лука и Л. Л. Нерсесова в Центральной Азии), внутри них наблюдаются скоростные неоднородности, местами очень малые мощности. Все это при слабой сейсмической изученности глубин, превышающих 100 км, склоняет к мысли, что мантийные волноводы столь же неравномерно распределены, столь же неоднородны, как и коровые; кроме того, местами они, несомненно, обладают различной тонкой структурой. Надо согласиться с И. А. Соловьевой, отмечающей, что «представления о существовании в верхней мантии мощного однородного и единого в объеме всего земного шара волновода предельно упрощены. В действительности в мантии, несомненно, существуют слои пониженных скоростей как для продольных, так и для поперечных волн, однако количество таких слоев, их мощность, глубина залегания и скоростные характеристики различны в разных районах земного шара» [«Проблемы...», 1981, с. 89].

Е. В. Артюшковым дается определение литосферы («слой, в котором концентрируется основная доля напряжений, действующих в верхних слоях Земли»), очень близкое к определению Б. Гутенберга 1957 г. Это определение представляется расплывчатым (действительно, что такое «основная доля» и «верхние слои»; каждый это может понимать по-своему) и неконструктивным, так как измерить напряжения в глубинах Земли нельзя; их можно только рассчитать, причем неоднозначно. Если мы имеем геологическое тело (в данном случае слой), нам надо определить его границы. Возможность определения границ нам дает пока только сейсмология, и целесообразнее поэтому литосферу определять как слой, расположенный выше астеносферы. Астеносферу же следует определять как реологический объект, пространственно совпадающий со слоем пониженных скоростей, к которому могут на основании реологических расчетов гипотетически добавляться в отдельных районах прилегающие участки земного пространства. Если встать на такую позицию, то распространение астеносферы локально. Вопрос с распространении астеносферы в океанических пространствах еще требует дальнейшего изучения, хотя уже сейчас намечаются интересные закономерности ее распределения в связи со срединноокеаническими хребтами.

Можно было бы, конечно, астеносферу выделять совершенно иначе, а именно по глубинам распределения диффузионной вязкости. В таком случае выделяется слой низкой вязкости на небольших глубинах (100—200 км), а ниже вязкость растет. Но

«вязкостная астеносфера» может выделяться только как «расчетный» глобальный слой (оболочка), подобный слоям постоянных температур (взятых в некотором определенном интервале), давлений, плотностей и т. д., выделенный по экстраполяции или на основе применяемых к планете самых общих законов. «Вязкостная астеносфера» *не может поэтому пока служить для* построения геотектонических гипотез, как-то упорядочивающих структурную неоднородность внешних оболочек Земли. В этом смысле значительно более приемлемо представление о несплошной «скоростной» астеносфере.

**Процессы в зоне перехода от ядра к мантии и их связь с тектогенезом.** Особенности границы (или зоны перехода) от ядра к мантии, особенности *прохождения поперечных волн*, которые здесь «останавливаются», свидетельствуют о жидком состоянии, по крайней мере, внешних сфер ядра; западный дрейф магнитного поля, связанный с проскальзыванием мантии относительно ядра, что находит объяснение в ротационном механизме и на чем основывается теория «динамо»,— все это привлекает особое внимание тектонистов и геофизиков к разделу D—E. Больше в недрах Земли подобных разделов существующими методами не фиксируется. Вторую же динамичную внутриземную зону часто усматривают в астеносфере, с которой связывают возможность *перемещения литосферы относительно подастеносферных слоев* мантии. Итак, представляется, что внутри Земли существуют два слоя смазки или как бы две обоймы шарикоподшипников (здесь напрашивается это образное сравнение с термогравитационными конвекционными ячейками, которые рисуются во многих построениях, в частности, в тектонике плит), являющиеся наиболее тектонически активными сферами, между которыми мыслится существование *энергетических и вещественных связей*.

Выше была дана общая оценка степени достоверности гипотез о существовании и состоянии астеносферы; в отношении же раздела D—E отметим, что вязкость внешнего ядра по различным оценкам лежит в пределах $10^{-3}$—$10^{8}$ Па·с, т. е. ни много ни мало, в пределах одиннадцати порядков. Естественно, что при столь расплывчатых характеристиках двух динамичных оболочек Земли решение вопроса об их связи может быть только сугубо гипотетичным.

Вопрос о составе ядра также весьма неопределен (здесь *нельзя сказать*, что это вопрос *спорный*, так как для спора требуется сопоставление аргументов и спор в таком случае может «рождать истину») — или это железо (гипотеза о железо-никелевом ядре), или это металлизованный силикат. Во втором случае ядро состоит из сильно сжатого вещества Земли, при котором происходит нарушение молекулярных решеток и даже, возможно, переход в плазменное состояние. То есть здесь мы имеем дело с *совершенно иным состоянием вещества*, *характерным* только для термодинамических условий ядра. Вопрос об образовании ядра также неоднозначен; можно предполагать наличие

гравитационной дифференциации в центростремительном (мясниковским) или центробежном варианте, образование вещества ядра в особенных условиях центральной части планеты (2900 км и более) и как первичное образование, возникшее в процессе аккреции из протопланетного пылевого облака.

Решение этих вопросов (конечно, с позиций актуализма, со свойственной ему гипотетичностью и вероятностью выходов) лежит за пределами или на грани современных экспериментальных возможностей.

По Е. В. Артюшкову, в теле мантии с ее современной вязкостью гравитационная дифференциация практически невозможна (кристалл 1 $см^3$ с плотностью на единицу выше плотности среды тонет в мантии со скоростью 1 см за 100 млрд. лет). Следовательно, гравитационная дифференциация могла проходить в ранних раскаленных и жидких стадиях развития планеты или проходить в отдельных жидких или маловязких горизонтах (астеносфера и внешнее ядро). Вот эту вторую возможность рассматривает Е. В. Артюшков, причем суть процесса представляется следующим образом. «Масса ядра соответствует значительной доле массы Земли — около 30 %. Поэтому ядро должно состоять из одного из наиболее распространенных в Земле веществ. Следовательно, и в нижней мантии концентрация вещества ядра должна быть высокой» [1979, с. 105]. Низы мантии частично плавятся, и «ядерное» вещество присоединяется к ядру, оставляя выше себя в расплаве *легкий материал*, который внедряется в вещество мантии и достигает верхних слоев Земли.

Можно согласиться с тем, что в жидкой оболочке Е происходит гравитационно-тепловая конвекция, сопровождающаяся расплавлением прилегающих к этой оболочке нижних частей мантии. Однако одновременно или периодически может происходить и припаивание материала ядра к мантии, т. е. процесс в целом может быть как однонаправленным (рост ядра), так и ритмическим или компенсационном. Возможно, что существование нижнего (100 км) слоя мантии, где скорости почти не растут, связано именно с таким ритмически-компенсационным режимом.

В последнем случае «легкий материал» может лишь участвовать в конвекционном движении, возможно, преобразовываться также ритмически или компенсационно и не искать выхода в верхние слои Земли. Иными словами, здесь альтернативные решения, и автор гипотезы может быть прав или неправ. Против существования рисуемых Е. В. Артюшковым каналов, по которым «легкий материал» движется от ядра к астеносфере, говорит отсутствие каких-либо устанавливаемых сейсмологическими методами признаков таких каналов. На первый взгляд представляется, что давление масс мантии при ее огромной мощности и значительной плотности должно перекрыть такие каналы в самом их зарождении. Эта точка зрения нуждается в подтверждении (или опровержении) реологическими расчетами. Также следует учитывать, что «легкий материал», поднимающийся по ка-

налам, должен находиться в химическом взаимодействии с мантийной средой и в результате превращаться в вещество мантии, сливаясь с ее основной массой. Однако проверка расчетами возможностей химического рассасывания «легкого материала» может производиться для некоторого самого общего случая, так как нет никаких конкретных данных о химических свойствах или составе обоих компонентов.

Поскольку представления о «каналах» основываются на очень зыбкой почве, поскольку неизвестны ни химический состав, ни реологические свойства нижней мантии, соображения о «структуре» течения «легкого материала» вдоль канала (интенсивность потока в течение относительно коротких промежутков времени), с чем может быть связана прерывистость тектонических движений, трудно принимать всерьез.

Однако при всей неопределенности гипотетической подземной ситуации, вытекающей из допущения существования «каналов», эта ситуация дает возможность появиться на свет новой геотектонической гипотезе, согласно которой зоны современных активных тектонических поднятий (срединноокеанические хребты, активные окраины континентов), имеющие линейный характер, соответствуют линейным системам каналов, а активные области округлой формы — изолированным каналам. Отметим, что высказывания о возможном соответствии линейных систем границам конвекционных ячеек в нижней мантии трудно принять, так как существование таких ячеек более чем сомнительно, если вспомнить о скорости сантиметрового кристалла, погружающегося в нижней мантии. Представление о связи тектонически активных зон с системами «каналов» назовем *гипотезой Артюшкова*, условившись не включать в это понятие того, что написано в его книге до и после этого утверждения. Эта гипотеза соблазнительна тем, что она содержит представление о связи тектонических структур и движений в гипергенной оболочке Земли с большими глубинами, охватывающими целиком мантию, и создает стимул к размышлениям о природе унаследованности в тектонике. Надо найти пути для проверки этой гипотезы, и хорошо было бы воспользоваться советом самого Е. В. Артюшкова о проведении «зондирования мантии вертикально или почти вертикально распространяющимися волнами, отражающимися от ядра» [1979, с. 122].

Географическое распределение и характеристика (понижение скорости, высокая электропроводность) астеносферных зон в самых общих чертах коррелируются с областями современной тектонической активности и не обнаруживают сколько-нибудь отчетливой связи с устойчивыми во времени (унаследованными) геологическими направлениями (складчатыми системами, системами глубинных разломов и т. д.). Отсюда можно предположительно заключить, что астеносферные зоны в ходе геологической истории географически смещались и изменяли свои мощности и другие характеристики. Так, по аналогии современного их рас-

пределения можно думать, например, что в конце палеозоя — начале мезозоя они существовали на месте Урала. Совершенно необязательно появление астеносферных зон с их вероятной повышенной температурой связывать с подтоком нагретого вещества снизу. Могли быть и иные источники энергии.

Исходя из связей астеносферных (или астенолитных) зон, изменяющихся по характеристикам и положению в пространстве, с областями новейшей тектонической активности, весьма интересно проследить этот «астеносферный процесс» на протяжении геологической истории. Такое прослеживание будет представлять собой существенно опосредованную ретроспективную реконструкцию. Мы ее осуществлять не будем, но отметим, что эта задача может быть темой капитального, серьезного и необходимого геологического исследования. Привлекательность такой реконструкции заключается в том, что с ее помощью можно подойти к решению проблемы тектонических движений на уровне глубины верхней мантии. Резонно допустить, что прерывистая и изменчивая астеносфера как предполагаемый слой наибольшей подвижности должна оказывать решающее влияние на распределение, направление и скорости тектонических движений на уровне мантии. Придется пересмотреть привычную и примитивную схему конвекционных ячеек в мантии, основывающуюся на ее однородности. Схема движения окажется значительно более сложной, зависящей от всех четырех координат мантийного пространства — времени. Придется учитывать локальные геодинамические условия и состояния вещества. Конечно, здесь будет иметь место и дифференциация по плотности, и «суперпозиция химической и тепловой конвекции» [1979, с. 136], но эти процессы будут протекать различно в каждой точке (или участке) мантии в соответствии с состоянием вещества в данной точке (участке) и в окружающем ее пространстве в определенный момент времени.

Итак, «легкий материал», появляющийся на границе ядра и мантии в результате гравитационной дифференциации, поднимается по «каналам» и попадает в верхи мантии, где дифференцируется, растекается под корой, образует «ловушки» под выпуклостями поверхности М, подобные скоплениям нефти в антиклиналях, образуя участки *аномальной* (низкоскоростной) *мантии*. С течением мантии, с аномальной мантией и ловушками связывается объяснение вертикальных движений земной коры в различных структурных условиях. Получаются подобного же рода неувязки, что и в гипотезе В. П. Мясникова и В. Е. Фадеева, с той разницей, что Е. В. Артюшков использует более конкретные данные в геологической структуре, но, к сожалению, в большей части в виде литературных ссылок или гипотетических субъективных представлений других авторов. В силу всего этого в книге «Геодинамика» отчетливо проступают неувязки следствий из основной идеи с региональными геологическими данными и ощущается явное стремление приспособить идею к природной ситуации. Отсюда возникает мысль о необходимости тео-

ретического обоснования связей, в том числе и обратных связей между глубинными физическими и поверхностными геологическими данными.

Расчеты здесь проводятся, исходя из существования не астенозон, а сплошной астеносферы и в общем выравненных условий перемещения и подъема «легкого материала». При гипотетических построениях имеют место категорические утверждения, как, например, что разогрев аномальной мантии мог произойти «только в результате быстрого конвективного переноса крупных объемов мантии с большой глубины» [Артюшков, 1979, с. 141].

Не совсем обоснованы некоторые геологические явления. Так, с позиции основной идеи данной монографии Балтийский, Канадский щиты могут обладать устойчиво повышенным рельефом только за счет подтока горячего «легкого» материала в ловушки. Но почему же тогда на щитах тепловой поток мал? По этому поводу Е. В. Артюшков пишет: «Периодическое поступление в ловушки под щитами сильно нагретого материала на первый взгляд плохо согласуется с низкими тепловыми потоками на щитах. Пониженные тепловые потоки в этих областях связаны, однако, в первую очередь с эрозией значительной части гранитно-осадочного слоя, с которым связана большая часть активного тепловыделения в коре» [1979, с. 151]. Но не компенсируется ли эта потеря приближением ловушки к поверхности за счет той же эрозии? И как объяснить установленный на Кольском полуострове высокий геотермический градиент на больших глубинах? Здесь много вопросов, неясностей и неточностей. В книге «Геодинамика» допускается значительный перегрев мантии под щитом время от времени, что подтверждается тем, что «в девоне и перми *было внедрение крупных расслоенных интрузий*» [с. 153]. Эти слова выделены курсивом, поскольку они характеризуют качество геологической аргументации. В них две неточности. Во-первых, «внедрение» и «интрузия» — это одно и то же (первое слово русское, второе иностранное; и то и другое обозначают процесс); правильнее было бы сказать «образование интрузивных тел» или «образование плутонов», хотя в некоторых геологических словарях допущена та же ошибка. Во-вторых, расслоенные тела не внедряются, а расслаиваются после внедрения за счет гравитационной дифференциации при их застывании. Так именно обстояло дело с Ловозерским плутоном.

В качестве недостатка «стыковки» укажем также на неясность в выделении тел «скоростной» природы и на постоянное смешение признаковых пространств. Выделение аномальной мантии как геологического тела — это задача, связанная с истолкованием сейсмологических и только сейсмологических данных. Можно по каким-либо признакам присоединить части того, что мы называем аномальной мантией (или коро-мантийной смесью), как к коре, так и к мантии или же выделить аномальную мантию в качестве самостоятельного тела. В книге «Геодинамика» же имеет место некоторая фетишизация аномальной мантии. Например, указыва-

ется, что под Динаридами, Алжирским Атласом, Альпами, Большим Кавказом должна существовать аномальная мантия. Однако она не должна существовать, а только лишь может выделяться по конкретным сейсмологическим данным. То же самое касается Памира, Каракорума и Гималаев, где предлагается часть коры со скоростями продольных волн $7{,}4 \cdot 10^3$ м/с относить к аномальной мантии, поскольку такие скорости для нее характерны. Но ведь об этой характеристике можно говорить только в том случае, если дано точное определение понятия «аномальная мантия». Встречаются и другие высказывания, где сейсмологические тела без предварительной их горнопородной интерпретации запросто взаимодействуют с горнопородными телами. Например, «крупные массы эклогита могут долгое время сохраняться в низах коры, только если под ними в литосфере расположена холодная и очень вязкая мантия. В противном случае они отрываются от коры и погружаются в мантию». «Эклогит давно должен был оторваться от коры и потонуть в мантии» [Артюшков, 1979, с. 160, 174, 175]. Эклогит как горная порода может утонуть в среде малой вязкости или в расплаве; говорить же о том, что он «тонет» в среде, выделенной по совершенно другой специализации, конечно, нельзя. Нельзя писать, что «аномальная мантия... обтекает погружающиеся плиты сбоку» [с. 219, 269]; ведь аномальную мантию можно только выделить в пространстве по определенным признакам, говорить же о ее течении, о разрывах и т. д. нельзя. Нельзя также «рвать» кору или «раскалывать» и «растягивать» ее [1979, с. 271], так как это не горнопородный объект. А вот гипергенная оболочка, любая осадочная или метаморфическая толща, массив разрываться или раскалываться могут. Забавно звучит фраза: «В период отрыва эклогита и его погружения в мантию на поверхности могут наблюдаться различные по знаку и величине гравитационные аномалии» [1979, с. 175]. Кто же, как и когда может эти аномалии наблюдать? Об этом нет ничего; не указана возможность проверки этого любопытного предположения.

Третий недостаток «стыковки» — замена фактов гипотезами при аргументации. Так, для Южно-Каспийской впадины указано, «что для рассматриваемой области характерны *признаки* быстрого погружения коры за счет фазового перехода базальта в эклогит: начальная платформенная стадия развития, последующее поднятие территории, сменяющееся резкими погружениями, уменьшение мощности консолидированной коры и сильный разогрев мантии» [1979, с. 177]. Все эти пять признаков являются всего-навсего гипотезами, т. е. имеют вероятностную природу, а поэтому вероятность совокупности этих признаков ничтожно мала.

При всех сделанных замечаниях некоторые геологические догадки Е. В. Артюшкова перспективны. К этому мы относим соображения о формировании осадочных бассейнов на щитах [1979, с. 165], погружении коры за счет уплотнения вещества на глубине, унаследованности вертикальных движений как в стационарных континентах, так и в перемещающихся плитах, а также опреде-

ление процессов *базификации* и *эклогитизации*. Оба эти понятия часто путают, что приводит к недоразумениям; автор же дает им четкие определения.

Построения Е. В. Артюшкова в отношении горизонтальных движений очень тесно связываются с субдукцией, как с чем-то само собой разумеющимся, тогда как это представление имеет альтернативы, вопрос же о существовании субдукции должен быть тщательно исследован. Поэтому думается, что представление о субдукции, как и представление о глобальной компенсации ею спрединга, а также трактовка «упорядоченных магнитных линейных аномалий» пока еще не могут быть использованы в качестве достаточных аргументов для далеко идущих выводов. Вместе с тем весьма убедительна аргументация автора о невозможности пододвигания континентальной плиты под континентальную, выталкивающуюся действием архимедовой силы. Фактические данные распространения очагов землетрясений также говорят не в пользу крупных взаимных перемещений плит в пределах континентов. Так, на Гималаях «суммарное выделение сейсмической энергии... много меньше, чем на активных окраинах. Под передовым прогибом землетрясений очень мало и их магнитуды невелики. Землетрясения происходят в основном под самими Гималаями, однако здесь их очаги расположены преимущественно на небольших глубинах, до 40 км...» [1979, с. 285]. На Тянь-Шане гипоцентры наиболее сильных землетрясений, приуроченных к разломам, расположены на глубинах до 20 км, а на Кавказе под прилегающими прогибами до 10—15 км. «Сейсмоактивной поверхности на глубине около 40 км, вдоль которой можно было бы предполагать скольжение одного слоя коры относительно другого, нигде не выделяется» [1979, с. 285]. Это обстоятельство подвергает серьезным сомнениям возможность существования особенно больших надвигов, которые могли бы с больших глубин, с подошвы гипергенной оболочки (или с подошвы земной коры при соответствующей горнопородной трактовке зоны М) выносить пакеты офиолитовых чешуй. Серьезным сомнениям также подвергается возможность сближения Евразии и Гондваны по фронту Гималаев на расстояние сотни и даже тысячи километров.

**О невозможности пододвигания друг под друга континентальных плит или их значительного сближения на примере Памира.** М. М. Кухтиков [1981] поставил вопрос о правомерности представлений о значительном перемещении континентальных плит на большие (сотни, тысячи километров) расстояния. Такие предположения возникли по аналогии со значительными перемещениями океанического дна, вытекающими из некоторых тектонических выводов, основанных на успехах в изучении дна Мирового океана.

«К 1969 г.,— пишет М. М. Кухтиков,— была четко сформулирована идея о заложении древних геосинклиналей на коре океанического типа, что повлекло за собой выводы — следствия о наличии в прошлом обширных океанических бассейнов там, где ныне

простираются тангенциально сжатые геосинклинальные структурные комплексы горных стран» [1981, с. 3].

М. М. Кухтиков на примере Памира показал, как приверженность заранее данным общим тектоническим концепциям (в данном случае ультрамобилистским) может привести к совершенно искаженному пониманию конкретной геологической ситуации. Так, появилось представление о том, что структурный шов Центрального Памира — след гигантского горизонтального сближения (несколько тысяч километров) Северного и Южного Памира и закрытии океана Тетиса; соотношения некоторых комплексов определялись как зона субдукции, а амплитуды надвигов в северном направлении исчислялись в 150—200 км. Здесь невольно вспоминаются лекции И. М. Губкина 1929—1930 гг., в которых он давал совет молодым геологам, как надо начинать работать в поле — «на время полевых работ забыть об авторитетах» и «Вложить персты в обнажения». Формула достаточно ясная, призывающая геолога в своих суждениях исходить из конкретных фактов, наблюдаемых в районах исследований.

М. М. Кухтиков — крупнейший знаток геологии Памира — рассмотрел ряд примеров, опровергающих надуманные представления. Оказалось, что на склонах Вахшского и Дарвазского хребтов разрез юры с мощной базальной брекчией с угловым несогласием залегает на среднем и верхнем палеозое без каких-либо признаков тектонического контакта и тем более надвигов (кроме незначительных подвижек). В зоне Акбайтальского разлома при значительных смятиях «структурные соотношения членов разреза, которые позволяли бы реконструировать или предполагать тектонические покровы, не наблюдаются» [1981, с. 6]. Олистолиты и олистостромы, на которых основывались выводы о крупнейших тектонических смещениях, являются на самом деле чисто осадочными образованиями, залегающими к тому же согласно с вмещающими красноцветами, дислокация которых простая и спокойная. Некоторые осадочные брекчии, включающие обломки широкого возрастного диапазона, трактовались, в угоду принятой концепции, как сложнейшая система тектонических чешуй. «В отношении степени сложности тектонического строения Акбайтальская зона ни в герцинской, ни в альпийской структуре не отличается уникальным характером, структурные основания для квалификации Акбайтальского района в качестве аллохтонного образования отсутствуют...» [1981, с. 7]. Танымасские брекчии, разделяющие будто бы в виде тектонических пакетов юрские и меловые отложения и считавшиеся главным критерием диагностики шарьяжей, оказываются четвертичными, хорошо сцементированными осадочными брекчиями, и описаны они были еще одним из классиков отечественной геологии В. Н. Вебером. Эти и многие другие геологические и геофизические данные позволили М. М. Кухтикову ясно показать надуманность схем, привносимых «концептуальными геологами» в трактовку геологии конкретных районов.

Итак, на примере Памира видно, что следует проявлять осторожность в трактовке геологической истории, по крайней мере, Альпийско-Гималайской складчатой системы.

### Старая глобальная тектоника

Мы охарактеризовали две новейшие геодинамические гипотезы, основанные на определенных физических концепциях, но включающие на своем «геологическом выходе» представление о поверхностных тектонических процессах. При рассмотрении этих гипотез и в связи с ними мы коснулись некоторых вопросов «тектоники литосферных плит».

Прежде чем перейти к этой очень популярной концепции и другим современным воззрениям, следует обратиться к предшествующим концепциям, которые, естественно, являются историческими звеньями в развитии новых представлений. Ради достижения некоторой терминологической системности в противоположность *новой* можно говорить о *старой* глобальной тектонике, определяющей собой понятие синтетическое, объединяющее множество как просто различных, так и противоречивых гипотез. Новая глобальная тектоника имеет глубокие корни в старых как мобилистских, так и фиксистских вариантах. Большой опыт прошлого, огромный арсенал идей наших предшественников мы используем наряду с новым опытом и новыми идеями. Научные достижения прошлого являются фундаментом (хотя и фундамент порой приходится ремонтировать, расширять и укреплять; а для этого существуют новые факты, появляющиеся в изобилии) современных концепций, продолжающих, а также отрицающих прежние концепции и призванных служить фундаментом будущих концепций, которые также будут их продолжать и отрицать. Начнем с *контракционной гипотезы*, которую А. П. Карпинский назвал счастливейшим завоеванием научной мысли. Ее основоположником был Ж. Эли де Бомон. Она была им предложена в 1829 г. и целое столетие почти безраздельно владела умами геологов. Ею широко воспользовался Эдуард Зюсс, опубликовавший в 1875 г. работу «Происхождение Альп» и утвердивший в этой же работе важнейшие представления о неоднородности земной коры. Именно на альпийском материале возникло течение «наппизма», объясняющее огромные шарьяжи Альп контракцией Земли. Контракционная гипотеза связана с космогонией Канта-Лапласа, представлениями об изначально огненно-жидкой Земле, ее постепенном остывании и сжатии, образовании охлажденной сравнительно тонкой коры, которая на жидком субстрате сжимается по мере уменьшения объема Земли, образуя на ее поверхности складки горы — наподобие сморщивания кожуры печеного яблока. Отметим, что в отличие от гипотез В. П. Мясникова и Е. В. Артюшкова контракционная гипотеза не полностью геоцентрична, так как предполагает воздействия на Землю космоса, создающие условия для охлаждения Земли и в этом смысле постоянно действующего на нее и обусловливающего ход ее тектонического развития.

Неповсеместность и причудливость расположения складок, наличие пространных равнин и вытянутых прямолинейных и изогнутых горных цепей привело Э. Зюсса к введению понятий об устойчивых (плиты, платформы, протогены) и неустойчивых (орогены, складчатые зоны) участках земной коры. В 1859 и 1873 г. американцы Д. Холл и Д. Дэна ввели понятие геосинклиналей. На этой основе впоследствии развилась *теория геосинклиналей*, которую можно считать порождением контракционной гипотезы и которая «овеществила» тектонические формы, наполнив их горнопородным содержанием, и дала начало учению о геологических формациях. Теория геосинклиналей и связанное с ней учение о формациях пережили породившую их контракционную гипотезу и до сих пор служат теоретической основой поисков полезных ископаемых, во всяком случае, в пределах континентов и шельфов. Так же как и рассмотренные выше концепции (В. П. Мясников, Е. В. Артюшков), контракционная гипотеза не обошлась без «стыковки» теоретических представлений физического толка (охлаждение и сжатие Земли) и поверхностного геологического рисунка. Однако в те времена представление о строении глубин Земли (модель глубинного строения) и о поверхностной тектонике (признание исключительной роли складчатости) были настолько просты, что «стыковка» не встречала никаких затруднений и была безупречно логична.

Что же привело к изживанию контракционной гипотезы? Конечно, не установление эпейрогенических (а также колебательных, что не совсем одно и то же) движений, которые объясняются *гипотезой изостазии*, хорошо уживающейся с контракционной. Гипотеза Эри и Пратта с их уравновешивающимися, по вертикальным размерам близкими к мощности земной коры (пока еще не точно отвечающей современному пониманию этого слова) блоками, плавающими на подвижном субстрате, находилась в полном соответствии с представлением об остывающей и сокращающейся Земле с тонкой корой. Отметим, что понятие изостазии в свете современных представлений должно быть чрезвычайно расширено и распространено на большие объемы Земли, возможно, ее мантию в самом широком диапазоне ее реологических свойств. Действительно, мы должны считаться с возможным распределением плотностных неоднородностей на разных уровнях и изостатическими движениями в довольно широких пределах их скоростей и амплитуд, регулируемых динамичным рельефом Земли. Но это применительно к современному уровню знаний. Во времена же господства контракционной гипотезы представление о контракции касались самой поверхностной оболочки Земли — ее коры. Представления об орогенических и эпейрогенических движениях, идеи Г. Штилле — все это еще укладывалось в рамки контракционной гипотезы; ей совершенно не противоречат ни «овалы» В. В. Белоусова, ни открытие радиоактивного распада.

Контракционная гипотеза перестала быть эффективной в научном смысле, как только была подорвана ее основа — представ-

ление о жидком состоянии недр Земли. Но здесь, конечно, нельзя говорить о *банкротстве* контракционной гипотезы, как это писал В. В. Белоусов в 1948 г., или ее *крушении*, как писал В. Е. Хаин в 1964 г.; это было не банкротство или крушение, а благородное отмирание мощного научного организма, породившего изобилие научных идей и свершений, сыгравшего огромную роль в развитии геологии и тектоники. Кстати говоря, изживание контракционной гипотезы можно рассматривать как негативное явление в развитии тектоники, так как связь тектонических явлений с космосом стала как бы совершенно несущественной, и умами геологов надолго завладел геоцентризм. Земля стала рассматриваться как замкнутая система, а научное мировоззрение геологов-тектонистов, естественно, стало ограниченным. Не спасли положения мобилистические концепции, так как в них фигурировала только кинематика и не был разработан механизм.

С установлением твердого состояния мантии, получением доказательств прохождения продольных волн до границы ядра и мантии, в особенности в связи с открытием глубокофокусных землетрясений, стали быстро устанавливаться признаки доминирования *вертикальных движений*. И хотя давно уже было хорошо известно по данным поверхностным нивелировок и триангуляций, что горизонтальные смещения земной поверхности в 2—4 раза превышают ее вертикальное смещение, вертикальные движения стали признаваться безусловно ведущими, а горизонтальные — их производными. Сложившееся положение надо связывать с тем, что по тогдашним представлениям не было такой жидкой и маловязкой оболочки, которая могла бы обеспечивать горизонтальные смещения. Переходная зона ядро — мантия, через которую не проходили поперечные волны и которая поэтому рассматривается как жидкая, была слишком далека от поверхности Земли, чтобы как-то контролировать происходящие вблизи нее тектонические процессы, чтобы генерировать первичные горизонтальные движения. Данное направление в тектонике, основывающееся на признании отсутствия жидких или высокопластичных оболочек в мантии, получило название *фиксизма*. Можно считать, что фиксизм господствовал в тектонике с 30-х по 60-е годы XX в.; с ним тесно связаны развитое А. В. Пейве учение о глубинных разломах, концепция унаследованности тектонических форм Н. С. Шатского; с позиции фиксизма положение материков оставалось постоянным. Унаследованными были также основные структурные формы — антеклизы, синеклизы, щиты, в значительной степени геосинклинальные системы и т. д.

Представление о приоритете вертикальных движений было связано с успешным развитием *анализа мощностей*, причем, по-видимому, упускалось из виду, что такой анализ дает представление только о вертикальной компоненте движений, вопрос же о горизонтальной компоненте остается открытым.

Что касается причин вертикальных движений, то в качестве их рассматривались самые разнообразные, совершенно гипотети-

ческие внутримантийные и внутрикоровые процессы. Представления о *причинах вертикальных движений* высказывались В. В. Белоусовым (радио-миграционная гипотеза), Э. Хаарманом (ундационная гипотеза, геотуморы), Б. Виллисом (астенолитная гипотеза).

Еще до утверждения фиксизма в эпоху господства контракционной гипотезы появилась *мобилистская гипотеза* Е. В. Быханова. Она была опубликована им в 1877 г. в сочинении «Астрономические предрассудки и материалы для составления новой теории образования планетной системы». В этом произведении указывалось, что в очертании материков земного шара замечается следующее: западные берега Европы и Африки почти параллельны восточным берегам Америки. В большинстве случаев заливам берегов Старого Света соответствуют выдающиеся в море части материков восточных берегов Америки и наоборот. Это сходство, по мнению Е. В. Быханова, объясняется тем, что материк Атлантида (существование которого предполагалось на месте Атлантического океана) не погрузился под уровень океана, а отодвинулся, представляя собой Америку. Как отмечал Б. Л. Личков, Е. В. Быханов почти на полстолетия опередил разработку И. Ф. Тейлором в 1910 г. в Америке и А. Вегенером в 1912 г. в Западной Европе гипотезы о раздвижении материков.

Мы не можем сказать, что гипотеза Е. В. Быханова была развита А. Вегенером. Просто он о ней ничего не знал. А наши ученые — геологи тех времен, тщательно изучая труды западноевропейских ученых, не обращали внимания на то, какие научные гипотезы зреют и появляются на свет в провинциальных городах России. Е. В. Быханов был скромным учителем пения, и если бы геологи своевременно подхватили и развили его взгляды, то гипотеза А. Вегенера не представила бы собой сенсации. Получилось так, что лавры родоначальника мобилизма, сыгравшего важную роль в развитии тектоники, достались не специалисту геологу, а знатоку атмосферы.

А. Вегенер, крупный специалист по термодинамике атмосферы, в 1912 г. впервые сформулировал «гипотезу перемещения», т. е. представление о значительных горизонтальных перемещениях материков. Он много работал над шлифовкой своей гипотезы и расширением ее аргументации при подготовке второго и третьего издания своей книги. Третье издание вышло в русском переводе в 1925 г. под названием «Возникновение материков и океанов». В сущности ни о каком «возникновении» в ней речи не идет, и понятно, что в предисловии редактора перевода книга эта именуется «Происхождение материков и океанов», что в большей степени соответствует ее сущности.

Работа А. Вегенера положила начало *мобилизму* (до этого существовали мобилистические концепции Е. В. Быханова и других, но мобилизм как направление в тектонике тогда никак не оформился), а следовательно, *фиксизму,* который и раньше существовал, но сейчас впервые обозначился как противополож-

ность мобилизму. Сосуществование этих двух больших групп гипотез — мобилизма и фиксизма — привело к постановке и решению ряда важных в теоретическом и практическом отношениях геологических задач.

Карты палеотектонических реконструкций А. Вегенера показывают, что в его представлении в конце карбона при контактном еще расположении материков их общая фигура представляет собой круг, окружность которого одновременно служила границей большего круга, окаймляющей Мировой океан. При расплывании континентов описывающая их окружность увеличивалась, а ограниченные ею круги океана (теперь Тихого океана) уменьшились. Таким образом, океан и до и после раздвижения материков приблизительно соответствовал кругу на шаре.

Предполагаемое на основе палеогеографических и историко-тектонических построений постоянство геологических границ, а следовательно, и фигуры Тихого океана можно понимать как в метрическом, так и в топологическом смысле. Последнее надо подчеркнуть, имея в виду существование мобилистских гипотез, которые, как и всякие гипотезы, трудно доказать и трудно опровергнуть. При топологическом подходе к фигуре Тихого океана ее можно считать инвариантной по отношению к мобилистскому и фиксистскому подходам, а значит, исследования геологии Тихого океана не обязательно подчинять только одному из них.

О борьбе между сторонниками гипотез устойчивости континентов и их больших перемещений Э. Арган писал: «Устойчивость — не теория, но отрицательный элемент, общий для нескольких теорий. При внимательном рассмотрении она является отрицанием проблемы, которая и является проблемой подвижности, определение устойчивости возможно только в связи с этой последней проблемой. В сущности она не может быть показана и утверждена; это удел всякой идеи, рассчитывающей на отсутствие доказательств» [1935, с. 121]. Если мы возьмем зеркальное отображение этой смелой мысли и вложим его в уста фиксиста, то фиксизм и мобилизм будут «в расчете». Топологические преобразования фигур не могут быть доказаны ретроспективными реконструкциями и не должны влиять на ход геологических исследований. Исключение представляют отдельные разломы и сдвиги, реконструкции движения по которым следует признать возможными.

Главное в гипотезе Вегенера — это значительные горизонтальные перемещения материков подобно плавающим в воде льдинам или айсбергам. Роль льдин выполняют мощные сиалические сооружения (пластины) континентов, а роль воды — вязкая или жидкая, но более тяжелая симатическая оболочка, слагающая дно океанов. «Совокупность положений теорий и перемещений основывается на признании определенного взаимоотношения между океаническими впадинами и материковыми глыбами, причем в основу кладется представление, что они по своей природе глубоко различны. С одной стороны, мы имеем материковые

глыбы, толщина которых равна приблизительно 100 км и которые плавают в массе иного состава и выступают из нее километров на 5, с другой,— это дно морских впадин, где масса эта остается непокрытой» [Вегенер, 1923, с. 3].

Согласно гипотезе, «при продвижении на запад обеих Америк их передний край был смят сопротивлением древнего глубоко охлажденного, а поэтому сильно противостоящего боковому давлению дна Тихого океана в грандиозную цепь Анд. Совершенно так же и на передней, относительно движения, стороне Австралийской глыбы, к которой относится отделенная от нее очень мелким морем Новая Гвинея, находится молодая цепь Новогвинейских гор... Восточный берег (Австралия.— *Ю. К.*) был все время передним краем. В то время образовалась складчатая цепь Новой Зеландии, находившейся непосредственно впереди этого берега» [Вегенер, 1923, с. 2]. Так решалась проблема складкообразования (горообразования) по берегам Тихого океана.

Идея А. Вегенера возникла в результате длительного развития соответствующих взглядов. У А. Вегенера много предшественников, которых он перечисляет в своей книге и приводит необходимые библиографические данные. Это работы К. Ф. Льотенгольца-Фригольберга (1895 г.), Д. Крейсгауэра (1902 г.), Г. Бетстойна (1880 г.), в которых «наряду со многими нелепостями *все-таки* дается представление о больших горизонтальных перемещениях материков» [Вегенер, 1923, с. 6], Шварца (1912 г.), В. Г. Пиккеринга (1907 г.), связывающих перемещения Америк в западном направлении с отрывом Луны от Земли в районе Тихого океана, И. Ф. Тейлора (1910 г.), рассматривающего в отличие от А. Вегенера Средне-Атлантический вал как результат опускания части материковой глыбы.

Истоки представления о геологической разнородности континентов и океанов относятся к середине XIX в., ко времени, когда было установлено явление изостазии. Эри и Пратт в 1855 г. независимо друг от друга предложили свои, теперь широко известные, модели изостазии. Согласно модели Эри, земная кора расчленялась на блоки, которые погружались на разную глубину в вязкий или жидкий субстрат. Такая модель была очень хороша для наглядного отображения природной сущности изостазии, но была, как и всякая модель, в известной мере условна. Так, сейчас мы представляем себе, что изостазия — это равновесное состояние приповерхностных земных масс, располагающихся выше «поверхности компенсации», в которой давление горных пород одинаково осуществляется в твердой среде. Положение уровней компенсации совершенно неясно. Однако представление о твердом и жидком слоях, принятое Эри, было применено ко многим геотектоническим гипотезам и, в частности, к представлению о свободном плавании материков по океаническому субстрату, а также к представлению о так называемой «океанической коре».

Исходным пунктом гипотезы А. Вегенера послужило совпаде-

ние берегов Атлантического океана при рассмотрении Мировой карты. Тихий океан к этой исходной предпосылке гипотезы прямого отношения не имел. Вопрос о том, что же делалось под дном Мирового, а затем Тихого океанов при сокращении его площади оставался открытым, и молчаливо признавалось, что океан был не только океаном для кораблей, но и океаном для континентов, по которому они плавали, не оставляя следов. При этом океаны и континенты подчинялись закону изостазии.

Правда, А. Вегенер, несмотря на уподобление дна океана воде, высказывает соображения о его внутренней структуре. Гирлянды Восточной Азии, по мнению А. Вегенера, указывают на перемещение материковых масс к западу. Гирлянды «вследствие перемещения материковых масс отчленились от последних и остались припаянными к глубоко затвердевшему дну. Между ними и краем материка выступает, как в проруби, молодое и легкоподвижное океаническое дно... Карта глубин, несмотря на все свое несовершенство от недостаточного количества промеров лотом, все же решительно указывает на то, что связь между гирляндой и главной глыбой совершенно прервана» [Вегенер, 1923, с. 30].

А. Вегенер прочно внедрил в геологию представления об исключительности океанического дна, ведущее в этом смысле свою родословную от Эри через ряд своих предшественников, перечисленных выше. Представление это было необходимо для объяснения расплывания Африки и Южной Америки, и А. Вегенер всячески его подкреплял различными данными. Так вошли в геологическую науку совершенно новые факты, существенно ее обогатившие.

Во-первых, два максимума частот высот земной поверхности, вытекающие из гипсометрической кривой, наводят на мысль, что «мы имеем дело с двумя различными оболочками земной коры, которые, выражаясь образно, ведут себя как вода между льдинами» [Вегенер, 1923, с. 22].

Во-вторых, существуют особенности в распределении земного магнетизма, а именно, «что дно океанических впадин состоит из более магнитных пород..., чем породы материковых глыб» [1923, с. 23]

В-третьих, сейсмические данные говорят о различии материковых массивов и дна океанов. В 1921 г. Е. Томсом установлено, что скорость распространения поверхностных волн через океанические впадины на 0,1 км/с больше, чем через материки, что согласуется с величинами, основанными на физических свойствах глубинных пород. В этом же году Г. Антейсгейстером установлено, что быстрота распространения главных волн под Тихим океаном на 21—26 % больше, чем под Азиатским материком. Эти и другие сейсмологические различия указывали на то, что дно океанических впадин состоит из более плотного материала.

В-четвертых, О. Крюммель в 1907 г. пришел к заключению, что добытая драгированием основная масса рыхлых проб имеет

вулканическое происхождение и соответствует группе основных пород, которую Э. Зюсс назвал «сима» в отличие от «саля» — *гранито-гнейсовой группы пород, составляющих основы материков*. Термин «саль», чтобы не путать с латинским sal — соль, А. Вегенер предложил заменить «сиалем». Приведенные данные, хотя они и далеко не достаточны, убедительно говорят об отличиях горных пород океанического дна.

Очень слабая сторона гипотезы А. Вегенера — объяснение складкообразования, точнее, отсутствия складчатости в океанической «симе». А. Фен в 1921 г. справедливо отмечал, что отсутствие складок впереди движущихся материков является решительным опровержением его (Вегенера) представления о структуре земной коры и подвижности материков. Возражения А. Вегенера неубедительны. Он пишет: «Так как большая часть материковых глыб погружена в симу, то... смятие не может вызвать поднятие симы. Сима отодвигается либо вниз, либо в стороны, совершенно так же, как вода между двумя сближающимися айсбергами» [1923, с. 29].

Упомянем еще одну *гипотезу глобальной тектоники* Р. Штауба, *изложенную в книге «Механизм движения земной коры»* (1938 г.). Р. Штауб усовершенствовал мобилистическую концепцию А. Вегенера. Представление Р. Штауба сводится к следующему. Существуют две крупные материковые массы — Лавразия и Гондвана. Средиземноморские цепи, разделяющие обе массы, при подходе к Тихому океану расщепляются на западе в районе Карибского моря и Центральной Америки на Анды и Кордильеры, а на востоке в районе Молуккских островов — на южные и северные системы складчатых дуг, окаймляющих Тихий океан с запада. Центробежные силы сталкивают Лавразию и Гондвану, что и создает Средиземноморские цепи. «Великие пароксизмы земных орогенезов приходятся как раз только на совершенно определенные моменты, когда двигающиеся континенты прямо сталкиваются друг с другом. Но как только такое столкновение миновало, начинаются в процессе выравнивания огромных, вызванных горообразованием возмущений масс подкоровые течения к полюсам, *полярные токи,* чтобы путем долгой и трудной работы вновь разделить теснейшим образом спаявшиеся воедино континенты, нередко тесно сросшиеся друг с другом и, одновременно с разрывом новой геосинклинали, разогнать их обратно к полюсам» [Штауб, 1938, с. 255].

Таким образом, орогенезы и складкообразования чередуются с растяжением и образованием новых геосинклиналей. Этот процесс своей регулярностью обязан существованию сверхжесткой Тихоокеанской массы, которая служит «направляющей колеей» и создает «прочные рельсы», по которым они движутся. «На дне Тихого океана залегает громадная жесткая масса, играющая роль инертной преграды для подходящих к ней с запада и востока горных цепей, вынуждая последние огибать кругом океан» [1938, с. 247—248].

Остановимся на характеристике концепции *глобальной тектоники* А. Д. Архангельского и высказываний Н. С. Шатского.

А. Д. Архангельский в своих глобальных построениях пользовался исключительно данными по изучению геологии поверхности Земли. В его известных геофизических работах рассматриваются потенциальные поля постольку, поскольку их можно связать с геологической структурой. Физическими концепциями происхождения и развития Земли как планеты А. Д. Архангельский свои представления не связывал. В их основе лежит огромный фактический материал. А. Д. Архангельского можно было бы назвать «великим эмпириком», но он, конечно, не был подобен бэконовскому муравью, так как его огромная работа по собирательству фактов постоянно сопровождалась крупными обобщениями и теоретическими выводами.

Интересен научный путь А. Д. Архангельского. Все его работы, публиковавшиеся на протяжении длительного периода (с 1905 по 1941 г.), были посвящены геологии, а также региональной геофизике России и СССР. В 1923 г. был опубликован его первый учебник по геологии СССР — «Введение в изучение геологии Европейской России». В книгу «Геологическое строение СССР» 1932 г. кроме европейской части СССР было включено рассмотрение районов Средней Азии (Тянь-Шань, Памир, Алтайская горная система, Устюрт, Мангышлак, Приаралье, Кызылкумы), причем расширение площади охвата шло по мере продвижения исследований территории Советского Союза в восточном направлении. В следующей книге «Геологическое строение СССР» (1934 г.) была уже охвачена Сибирь (Кузнецкий бассейн, Минусинская котловина, Западно-Сибирская низменность, Салаиро-Саянская область). Четвертая книга А. Д. Архангельского «Краткий очерк геологической структуры и геологической истории СССР» вышла в 1937 г. к XVII сессии Международного геологического конгресса в Москве. К ней были приложены «Тектоническая карта СССР» и «Атлас палеогеографических схем Евразии» (соавторами были Н. С. Шатский, В. В. Меннер, Е. В. Павловский, Н. П. Херасков, П. Н. Кропоткин). А. Д. Архангельский в своем геологическом обзоре охватил всю территорию СССР. Он впервые предложил для времени формирования мезозоид название *тихоокеанского цикла складчатости*, равноправного с каледонским, герцинским и альпийским.

Его последняя книга по геологии СССР под названием «Геологическое строение и геологическая история СССР» увидела свет в 1941 г. В этой книге, в небольшой второй ее части (57 с.), А. Д. Архангельский впервые дал обобщение планетарного масштаба, т. е. сформулировал свои позиции по глобальной тектонике. «Имеющийся в нашем распоряжении,— писал он,— фактический материал дает основание прежде всего для подразделения земной коры на континентальную и океаническую части» [Архангельский, 1941, с. 338]. К океанической части А. Д. Архангельский относил только Тихий океан внутри «андезитовой ли-

нии», Индийский и Атлантический океаны — к континентальной части, считая, что впадины Индийского и южной части Атлантического океанов возникли сравнительно поздно — в палеозое и начале мезозоя на месте погрузившихся частей Гондваны. Средние и северные части Атлантического океана заняли место погрузившейся геосинклинальной области с каледонским, герцинским и альпийским развитием. В своих построениях А. Д. Архангельский учитывал геофизические данные о мощности земной коры и плотностях горных пород. Погружение сиалических масс, находившихся между континентами, сопровождалось глубокими изменениями нижних участков этих масс, причем увеличение плотности в толщах, подстилающих континентальные океаны, вероятно, сопровождалось внедрением снизу тяжелых магм, перегружавших кору.

Геологическая структура океанического дна представлялась в общем А. Д. Архангельскому как продолжение континентальной структуры в иной по свойствам геологической среде.

Если А. Борн считал, что островным дугам и вообще Тихому океану восточнее андезитовой линии (если смотреть со стороны Азии) складкообразовательные процессы чужды, то А. Д. Архангельский утверждал, что Тихому океану свойственны, так же как и континентам, складчатые зоны и платформы, но складчатость в Тихом океане должна быть иной, так как состав земной коры здесь другой, а сама область Тихого океана располагается «на некотором низшем уровне, соответственно большему удельному весу при преобладании сима» [Архангельский, 1941, с. 325].

По положениям островных дуг, отдельных островов и особенностям рельефа дна А. Д. Архангельский выделяет в Тихом океане систему валов и гряд северо-западного простирания длиной в 9—11 тыс. км, а шириной 2,5—3 тыс. км, а между Каролинскими и Гавайскими островами даже 3—6 тыс. км. В Тихом океане выделяются три равнинных участка: 1) южный ограничен Антарктидой, внешними австралийскими дугами, Южной Америкой, а на севере островными системами Туамоту и др., 2) средний (восточный) примыкает к Южной Америке, а на западе ограничивается группами островов и 3) северный ограничен восточно-азиатскими островными дугами, Алеутскими островами, Северной Америкой и Гавайями. Система дуг протягивается от о-ва Пасхи до Каролинских островов, включая эти последние, а также Туамоту, Самоа, Маршалловы, Гавайские и др. Между Гавайскими и Маршалловыми островами А. Д. Архангельский помещает срединную массу. Обращаясь к рельефу дна Тихого океана, он пишет, что «здесь существуют структурные элементы, весьма похожие на платформы и складчатые горные сооружения. К платформенным типам дна следует относить описанные выше восточный, южный и северные участки Тихого океана, к геосинклинальному — область, занятую рядом островов» [1941, с. 326]. Сходство системы подводных валов и гряд с горными системами, возникающими из обычных геосинклинальных областей, А. Д. Ар-

хангельский усматривает: а) в выдержанном направлении системы, б) в длине системы, приблизительно равной длине Альпийско-Гималайской системы Евразии, в) в ширине системы, близкой к ширине Альпийской системы.

Н. С. Шатский, который океанами специально не занимался и, следовательно, своей концепции глобальной тектоники иметь не мог, основываясь на геологическом изучении глубинных разломов, длительности их развития (многие сотни миллионов лет), их огромной протяженности (тысячи километров), а также на сведениях о сейсмофокальных зонах, уходящих далеко в мантию и в общем отвечающих поверхностным геологическим формам и границам, занимал совершенно определенную позицию по отношению к концепции А. Вегенера о плавании материков. Он указывал, что, по данным изучения геосинклинальных систем, в глубинных разломах и сейсмофокальных зонах устанавливается тесная связь между коровыми структурами и внутренними глубокими зонами мантии. «Все имеющиеся данные о землетрясениях показывают, что как отдельные геосинклинали, так и геосинклинальные системы, складчатые системы, геосинклинальные области... нераздельно связаны со структурами и движениями самых глубоких частей симатической мантии. Это решающий факт для гипотезы перемещения материков. В геотектонических концепциях нельзя отделять сиаль от симы, перемещать первую оболочку по второй [Шатский, т. II, с. 614].

Таким образом, сейсмологические данные помогли Н. С. Шатскому с полным основанием по состоянию геологических и геофизических материалов в 1946 г. опровергнуть мобилистскую гипотезу А. Вегенера. Однако несколько позднее новые сейсмологические же материалы послужили одной из основ неомобилизма. Имеется в виду установление зоны пониженных скоростей (волновода), что позволило конкретизировать и локализовать понятие астеносферы, которой отныне была отведена роль той подвижной оболочки, по которой могли бы «плавать» на этот раз не материки, а литосферные плиты. Механизм движения плит в свете идей неомобилизма представляется совершенно иным, чем у А. Вегенера. Вместо свободного плавания континентов стало фигурировать перемещение плит конвективными движениями материала мантии.

С установлением волноводов можно связывать исторический рубеж между старой и новой глобальной тектоникой. К новой глобальной тектонике мы будем относить как наиболее популярную сейчас концепцию литосферных плит, так и другие концепции, в том числе близкие к «фиксистским».

### Концепция тектоники литосферных плит

Предпочтительнее говорить о «тектонике литосферных плит», чем о «новой глобальной тектонике» в том же смысле. Выше было сказано, что новая глобальная тектоника в нашем представлении это более широкое понятие, противопоставляемое

«старой глобальной тектонике». Термин «новая глобальная тектоника» в узком смысле был предложен Б. Айзексом и др. [«Новая...», 1974]. Они писали: «В предлагаемой работе на основании обобщения данных сейсмологии и других смежных дисциплин выдвинута концепция, названная *новой глобальной тектоникой*» [«Новая...», 1974, с. 133], которая «воздействует на сейсмологию в высшей степени стимулирующе, и весьма вероятно, что результаты этого воздействия примут характер революции». И далее: «Самое главное это то, что новая глобальная тектоника, по-видимому, способна собрать и объединить в одну унифицированную концепцию данные сейсмологии, магнитометрии, морской геологии, геохимии, гравиметрии и др. Такого рода шаг сыграл огромнейшую роль в развитии наук о Земле, и, несомненно, он знаменует собой начало новой эры» [1974, с. 138]. Это уже явное преувеличение и совершенно излишняя категоричность, если учесть гипотетичность идей о спрединге, субдукции и других элементах новой глобальной тектоники. В составляющих концепцию тектоники плит гипотезах очень спорны не только их связи и «рифмовка», но и в значительной степени приспособления, порой очень натянутые, к некоторым исходным гипотетическим схемам, часто принимаемым в качестве фактической основы.

Таким образом, в явном виде было высказано признание того, что новая концепция означает переворот, революцию, начало нового этапа в геологической науке. Идея, сама по себе заманчивая, привела к появлению ряда работ, утверждающих исключительность и безусловную правильность этой концепции, хотя она целиком основана на гипотезах и не может не быть спорной. Тем не менее она, объединив их и «зарифмовав» данные различных дисциплин, является стимулятором в геолого-геофизических исследованиях, в том числе и в особенности связанных с ними глобальных проблем.

Правильно писали Б. Айзекс и др., что «новая глобальная тектоника — пусть даже через какое-то время она и будет отвергнута — безусловно, оказывает здоровое, стимулирующее и объединяющее воздействие на все науки о Земле» [1974, с. 177]. Да, это так, если не возводить ее в ранг непогрешимых и вечных истин. Тектоника литосферных плит («новая глобальная тектоника») как совокупность гипотез является лишь инструментом научных исследований. Этот инструмент со временем должен износиться и устареть, как износилась и устарела в свое время контракционная гипотеза.

**Физическая концепция.** Физической концепцией, лежащей в основе рассматриваемой гипотезы, является представление о конвективных течениях в мантии. По этому поводу существуют огромный материал и много расчетов, основанных на предположениях и допущениях. Ни один из этих расчетов не доказывает обязательности конвекции, а определяет лишь только возможности, совершенно не обязательно реализуемые. Течения, если они происходят, то происходят глубоко; никто непосредственно их не

измерял, существующие же определения теплового потока связаны только с теплопроводностью, а число Нуссельта ни для каких глубин или районов Земли не было определено, если не считать районов активной тектонической деятельности, где, в принципе, это можно сделать. При оценке скоростей, размеров и форм конвективных ячеек и т. д. исходят обычно из однородности среды (впрочем, иногда вводятся гипотетические неоднородности) и предполагаемых причин возникновения и поддержания движений (термическая, гравитационная, химическая). Предполагается иногда, что существует ряд классов конвективных ячеек, захватывающих разные глубины мантии. Например, гипореоны и батерионы Э. Крауса. Существующие расчеты (Е.В. Артюшков, С. А. Ушаков, О. Г. Сорохтин, А. Холмс, С. Ранкорн и др.) доказывают возможность конвекции в мантии, но не ее обязательную реализацию. Кроме того, надо иметь в виду, что сравнительно простые модели конвекции могут в значительной степени усложняться и даже оказываться недействительными, если бы было возможно учесть существующие, но совершенно не известные нам неоднородности мантии на различных уровнях и в различных районах. Хотелось бы обратить внимание на одно обстоятельство. Если астеносфера представляется наиболее подвижной средой и если она должна являться подвижным субстратом, обеспечивающим перемещение плит, то конвективные ячейки должны в основном умещаться в пределах астеносферы. Если в таком случае признать повсеместность распространения астеносферы, то конвективный глобальный перенос литосферных плит в принципе оказывается возможным, но если принять во внимание приведенную выше аргументацию в пользу прерывистости и неоднородности (по мощностям и реологическим свойствам) астеносферы, то такой процесс представится невозможным, а движения литосферных блоков по субстрату будут носить узколокальный характер.

Кстати, геоморфологические построения 1980 г. Ю. М. Пущаровского говорят об автономности отдельных систем разломов Тихого океана и приводят к заключению, что не следует тектонические движения дна Тихого океана сводить к простому перемещению литосферных плит по обе стороны от Срединного Восточно-Тихоокеанского поднятия; геодинамика дна представляется более сложной, что противоречит идее об однородности и сплошном распространении астеносферы даже при принятии в принципе идей мобилизма.

Так как астеносфера принадлежит к Большому геологическому континууму и недоступна для непосредственных наблюдений и измерений, то главная система доказательства гипотезы лежит в геологических картах, данных бурения и геофизических данных, однозначно интерпретируемых в горнопородном смысле.

Б. Айзекс и др. (1974 г.) отмечают ряд спорных нерешенных вопросов в отношении характера движения в системе астеносферы — литосферы. Так, предполагается, что поток, встречный

по отношению к нисходящему движению литосферы, происходит в астеносфере, хотя существуют и другие гипотезы о положении встречных потоков на больших глубинах в мантии. Неясным считается вопрос, имеется ли в верхней астеносфере поток, соответствующий движению литосферы, иными словами, литосферные блоки могут пассивно переноситься течением астеносферы или *плавать на ней как корабли, подобно континентам* в свете идей Вегенера. «Решение этого вопроса, весьма важного, но пока еще остающегося открытым, связано частично с решением вопроса о границе между литосферой и астеносферой. Ключевым моментом этой модели является то, что система конвекционных потоков в астеносфере, возможно, контролируется конфигурацией и движениями плит литосферы, а не геометрически правильной сеткой конвекционных ячеек, как в идеализированной модели Земли... Напротив, конфигурация континентов может рассматриваться как сложная реакция жесткой литосферы на относительно простую сетку конвекционных течений в астеносфере» [«Новая...», 1974, с. 135]. Здесь высказывается весьма интересная идея, намечающая некоторые пути «стыковки» физических и геологических моделей в глубинной тектонике.

Высказывается предположение, что континенты не только бывают «впаяны» в мантию и переносятся конвективными токами, но и существуют другие «литосферные» явления, связанные с поверхностью М. Так, предполагается, что «помимо явлений глубинной астеносферной субдукции сиалическая кора континентов на больших пространствах сорвана с симатической оболочки вблизи поверхности М» [«Проблемы...», 1981, с. 11] и что, в частности, по западному краю Североамериканского континента «континентальная кора» скользит по «океанической коре», т. е. происходит явление *подкоровой субдукции*. Признание такого явления чрезвычайно осложняет наиболее принятую сейчас физическую модель плитной тектоники.

Недоразумение, связанное с двойственным пониманием субдукции (пододвиганием под литосферную плиту, несущую континент, или просто непосредственно под континент), отражено в работе 1980 г. Ю. М. Пущаровского и др. Ими отмечено, что грандиозные субширотные разломы Тихого океана не отражаются на строении Америки, причем такие продолжения не фиксируются даже космическими снимками. Для спасения идеи субдукции выдвигается идея о «пассивной» тектонике Северной Америки при пододвигании под нее океанического дна. Такое «тектоническое равнодушие» континента малодоступно пониманию; хотя, если бы субдукция здесь мыслилась как «литосферно-плитная», а не как «континентальная», продолжения разломов под материк были бы вообще необязательны и возможность субдукции имела бы большие основания.

**Основные геологические данные.** Основными геологическими данными, используемыми в построении плитной тектоники, являются: а) выделение и характеристика современных сейсмических

поясов, б) характер залегания, возраст и мощности кайнозойских и мезозойских отложений дна океанов (плитные комплексы океанов), в) измерения намагниченности горных пород и использование (геологическая интерпретация) на этой основе линейных магнитных аномалий дна океана.

На основании этих данных оценивается протяженность литосферных плит и характеризуются их границы. С учетом данных по магматизму развиваются гипотезы спрединга, субдукции, «горячих точек» и др. Выделение литосферных плит проводится в квазистатическом пространстве, упомянутые же гипотезы относятся к ретроспективным реконструкциям динамических систем и имеют, таким образом, прямое отношение к геодинамике.

Приведенные геологические факты и гипотезы в совокупности представляют «плитную тектонику», увязывающую или стремящуюся увязать в глобальном плане многие геологические и геофизические факты.

Главной общей задачей сторонников и противников концепции «тектоники литосферных плит» является проверка включаемых ею гипотез. А если главная задача совпадает, то речь уже может идти о сотрудничестве в исследовании и в поисках наиболее вероятных, а еще лучше достоверных решений. Думается, что глубинный физический механизм, приводящий к поверхностным тектоническим явлениям (в большей степени непосредственно измеряемым) и удовлетворяющий тектонической структуре и тектонической динамике поверхности Земли, может быть всегда намечен, учитывая ту свободу расчетов, которую нам представляет малая осведомленность о состоянии недр Земли. Об этом же говорит наличие серии представлений о самом механизме перемещения плит как в их пределах, так и на краях — «спрединговом» и «субдукционном» (утяжеление литосферы и погружение ее в мантию, волочение, затягивание, заталкивание).

**«Горячие точки».** Гипотеза «горячих точек» была впервые высказана в 1963 г. Дж. Уилсоном. Это представление родилось из наблюдений за неодновременным развитием вулканов в пределах линейных зон. Если в мантии существует фиксированная «горячая точка», то она как бы «прожигает движущуюся над ней литосферную плиту, в результате чего происходит смещение во времени вулканов в одном направлении вдоль этой линейной зоны. Гипотеза эта требует подтверждения и развития. Может быть рассмотрен иной, не связанный с движением плит механизм такого же закономерного смещения вулканов, а именно по принципу «острия развивающегося разлома». Такой механизм был рассмотрен нами на примере кольцевых структур Алданского щита. Суть заключается в том, что при развитии разломов в длину на его окончании (острие), которое постоянно перемещается в одном направлении, создаются механические условия для образования кольцевых структур. Механизм этот приложим и к распространению вулканов вдоль развивающихся разломов.

Однако гипотеза «горячих точек» совершенно не увязывается

с концепцией литосферных плит и даже находится с ней в полном противоречии. Согласно этой концепции относительно тонкие *литосферные плиты не перемещаются* по астеносфере, а переносятся подстилающим ее мощным слоем верхнего сектора — конвективной ячейки, охватывающей литосферу, верхнюю мантию или даже нижнюю мантию (на этот счет существует много высказываний, так как неисследованность недр Земли представляет очень широкую свободу суждений). В таком случае «горячей точке» пришлось бы прожигать значительно более мощный слой, чем литосфера, возможность чего трудно представить. Кстати сказать, идеальная схема продвижения «горячих точек» относительно литосферы и закономерное изменение возраста вулканов не подтверждено для хребта о-вов Лайн (скв. 165, 315, 316, «Гломар Челленджер»), где возраст их на всем протяжении хребта (1270 км) почти не меняется, испытывая колебания от 79 до 85 млн. лет. Не находит подтверждения гипотеза «горячих точек» также в других районах океана (сочленение Гавайского хребта и Императорских гор, вулканическая зона Камерун и о-в Святой Елены, хр. Китовый и др.).

***Выделение литосферных плит.*** Выделить тело — значит определить его границы. Границы литосферных плит принято определять по сейсмической активности, соответственно, границы современных литосферных плит — это зоны современной активности. Таким образом, «литосферные плиты» — это тела, выделяемые на поверхности Земли по чисто геодинамическим признакам. Такие тела в принятой нами классификации ближе всего к дизъюнктивным телам. Геологическое содержание (горнопородный состав, формации, тип геологического разреза, а следовательно, и развития, а также особенности внутреннего строения — структуры) в понятие литосферных плит не вкладывается. Во многих сочинениях по плитной тектонике сейсмические пояса характеризуются как главный определяющий критерий выделения и оконтуривания литосферных плит. На картах сейсмичности Земли зонами густого распределения (сгущенные сейсмофокальные зоны) очагов землетрясений, особенно четко обозначается сейсмический (он же вулканический, «огненный») Тихоокеанский пояс. Южное звено Тихоокеанского сейсмического пояса выступает в виде намечающейся, но отчетливой пунктирной линии очагов, которая проходит южнее Новой Зеландии вдоль юго-западного Оклендского поднятия (горы Макуори), затем выходит по восточному продолжению Антарктического поднятия к южной ветви Восточно-Тихоокеанского поднятия, в районе о-ва Пасхи резко поворачивает на юго-восток и, следуя вдоль подводной Западно-Чилийской возвышенности, выходит к побережью Южной Америки. В этом районе высокая сейсмичность Анд сменяется к югу весьма низкой их сейсмичностью.

Таким образом, *Тихоокеанская плита* выделяется вполне отчетливо, но ее границы неравнозначны. Северный подковообразный контур от северного о-ва Новой Зеландии до Южных Анд

сейсмически весьма насыщен, а южный контур лишь намечен пунктиром очагов. Строение Тихоокеанской плиты осложнено (если говорить о структуре, намечаемой положением сейсмофокальных зон). Прежде всего, от района Фосса Магна в Японии в сторону океана отходит огромный «заусенец», выраженный таким же густым распространением очагов, как и на основном Новозеландско-Азиатско-Американском сегменте Тихоокеанского пояса. Этот «заусенец» следует к островам Бонин, Марианской дуге и выходит на Каролинские острова в районе Яп-Палау, где он и заканчивается. Иногда здесь выделяют особую Филиппинскую плиту, к чему, однако, нет оснований, так как «заусенец» не замыкается. Здесь имеются лишь ответвления сейсмического пояса, подобные ответвлениям Охотско-Чаунского мезозойского вулканического пояса, направленным внутрь континентов.

В юго-восточной части Тихоокеанской плиты пунктирными зонами очагов выделяются две плиты подчиненного ранга: примыкающая к южноамериканскому побережью *плита Наска,* ограниченная на юге сейсмофокальным пунктиром Западно-Чилийского подводного поднятия, на западе — пунктиром Восточно-Тихоокеанского поднятия, а на север — линией, проходящей на широте островов Галапагосских и Сан-Кристобаль к Эквадору, и *плита Кокос* (также по имени подводного хребта юго-западного направления), расположенная севернее этой линии, а на западе ограниченная лежащим на продолжении Восточно-Тихоокеанского поднятия сейсмофокальным пунктиром, выходящим к побережью в районе Акапулько в Мексике.

В отличие от Тихоокеанской плиты в пределах остальной части планеты выделяются преимущественно пунктирные сейсмофокальные границы. По ним может быть выделена *Индо-Австралийская плита.* Граница ее только на участке от Новой Гвинеи до берегов Бирмы является сгущенной. Далее она приобретает пунктирный характер и следует вдоль хребтов, параллельных р. Иравади, вдоль Гималаев на юг через область Сулеймановых гор к подводному хребту Меррея, вдоль Аравийско-Индостанского хребта, Центрально-Индийского хребта, Австралийско-Антарктического поднятия и, наконец, вдоль общей с Тихоокеанской плитой границей до Новой Гвинеи.

Сейсмофокальная граница Индо-Австралийской плиты дает два шипа (или «заусенца») — один ответвляется в районе Оманского залива, второй направляется в Аденский залив и входит в Красное море.

Следующая важная сейсмофокальная пунктирная линия соответствует Срединно-Атлантическому хребту на всем его протяжении, а на юге прослеживается вдоль Африкано-Антарктического и Западно-Индийского хребтов и, наконец, южнее о-ва Родригес под прямым углом утыкается в границы Индо-Австралийской плиты.

От пунктирной сейсмофокальной зоны Срединно-Атлантического хребта на юге ответвляются к западу пунктирные шипы,

достигающие зоны интенсивного сгущения сейсмических очагов у Южных Сандвичевых островов. Западнее вулканические очаги наблюдаются в зонах Южных Оркнейских, Фолклендских (Мальвинских) и других островов. По этим рассеянным и нерегулярным очагам можно лишь наметить соединение Южно-Атлантического поднятия с южным окончанием Южной Америки. Если это соединение считать также сейсмофокальной границей, то можно полностью оконтурить *Антарктическую плиту*. Поскольку Южная и Северная Америки как плитные, т. е. асейсмические, пространства соединяются широкой асейсмичной полосой западного фланга Атлантического океана, Северная Америка соединяется с Азией асейсмическим пространством, расположенным севернее Тихоокеанского пояса, а Европа и Африка — асейсмичным восточным флангом Атлантики, то получается, что часть площади, не принадлежащей выделенным трем плитам, образует единую *Северную плиту,* «сшитую» Атлантическим сейсмофокальным пунктиром. Эта Атлантическая линия следует на север через о-в Исландия и выходит к устью Лены; на полярном отрезке (от Шпицбергена и далее) она представлена редкими очагами, и ни на какую другую сейсмофокальную зону она не замыкается, представляя возможность Северной Америке и Азии быть частями единой плиты.

Один из основоположников тектоники плит В. Морган [«Новая...», 1974] отмечает, что «границы блоков Сибири и Центральной Азии очень неопределенные..., хребет Девяностого градуса и Срединно-Лабрадорский хребет, расположенные между Индией и Австралией и между Гренландией и Северной Америкой, соответственно, по-видимому, представляют собой «ископаемые границы» [«Новая...», 1974, с. 69]. Отметим, что введение понятия «ископаемых границ», под которые можно подвести самые разнообразные геолого-геоморфологические структурные формы и разломы, очень ослабляет общую концепцию, внося в нее элементы большого произвола. Трудности в интерпретации сейсмической активности (в смысле соотношений блоков литосферы) для Альпийского складчатого пояса отмечаются также Б. Айзексом и др. «Землетрясения в Восточной Африке, на севере Сибири и на западе Северной Америки (включая Аляску) характеризуются большим рассеянием по площади»..., что «можно объяснить несколькими способами: 1) литосфера в некоторых или во всех континентальных областях может быть более гетерогенной и разрушается каким-то более сложным способом, 2) древние ослабленные зоны в континентальных областях могут реактивизироваться, 3) поддвигание блока континентальной литосферы в мантию на глубины в несколько сотен километров невозможно (ввиду относительно низкой плотности)... Поскольку дно океана представляется довольно молодым, плиты океанической литосферы, видимо, не заключают большого количества ослабленных зон, в то время как в более древних континентальных плитах таких зон множество» [«Новая...», 1974,

с. 167]. Это очень неубедительная попытка увязки геологии континентов и геологии океанов в свете концепций плит.

В пределах Северной плиты имеются три области повышенной современной сейсмической активности — в Средиземноморье, Восточной Африке и Юго-Восточной Азии.

Наиболее сложна Средиземноморская область, простирающаяся от Гибралтара до Памира. Здесь выделяются зоны сгущения очагов и отдельные пунктирные линии, позволяющие выделять ряд «микроплит», например Адриатическую, Анатолийскую и др., однако в целом эта зона не соединяется непосредственно с Атлантическим сейсмофокальным пунктиром и не дает твердых оснований для обособления Африканской плиты. Это можно сделать, если широкую расплывчатую зону нерегулярно расположенных очагов, не смыкающуюся с Атлантическим пунктиром, посчитать за границу.

В. Морган [«Новая...», 1974] в отношении этой зоны отмечает, что здесь могут существовать два почти параллельных пояса сжатия с расположенными между ними сериями субблоков — Западно-Средиземноморским, Балканским и др.

В Восточно-Африканской зоне имеются беспорядочно и неравномерно расположенные редкие очаги. Для выделения здесь границы плит, приуроченной к Африканскому рифту, нет никаких оснований.

В Юго-Восточной Азии очаги густо расположены в Китае, в зоне Тянь-Шаня, Забайкалья, в Монголии и Приамурье. В отдельных местах намечаются короткие пунктирные цепочки (например, Байкальская). Оснований для выделений плит или микроплит здесь нет.

Сделаем методологические замечания по отношению «плит» и «границ». Так, при выделении резкостных (в том числе нарушенных) и условных тел всех классов в основу кладется совокупность вещественных геометрических или генетических признаков, характеризующих то или иное тело, и уже на основании распространения этих признаков проводится граница тела; тело здесь стоит на первом месте, граница — на втором. Исключением являются дизъюнктивные (а также произвольные) границы, которые могут не считаться с какими-либо свойствами ограничиваемых ими тел; здесь границы стоят на первом месте. Они являются линиями разрыва сплошности, разделяющими участки среды, причем свойства среды значения не имеют. В тектонике плит, в основном структурном рисунке, определяемом сейсмофокальными зонами, главное место занимают эти зоны, а не промежуточные участки земной поверхности (коры, литосферы), называемые плитами. Заметим, что понятие «литосферной плиты» не несет никакого определенного структурно-геологического или историко-геологического содержания. Так, в Индо-Австралии, а также в Северной и Антарктической плитах заключаются участки платформ, щитов, геосинклинальных систем и тонких океанических плит, лежащих на основании, которое пока еще в гео-

логическом смысле не может быть однозначно определено. Расположение этих геологически разнородных участков не находит никакой видимой закономерной связи с границами плит. Исключением является Тихоокеанская плита, которая с полным правом может рассматриваться как резкостное тело, обладающее вполне определенными геолого-структурными признаками, отчетливо отличающими ее от окружающих пространств. Впрочем, это может не относиться к южной границе плиты.

*С принятым нами рисунком основных сейсмофокальных зон* (границ, «плит») могут быть связаны следующие геодинамические возможности: 1) связь основных сейсмофокальных зон с линейно расположенными каналами восхождения «легкого» материала, согласно гипотезе Е. В. Артюшкова, иными словами, соответствие их глубинным разломам, рассекающим мантию вплоть до ядра и отражающим напряженное состояние планеты *в целом (перемещение плит здесь необязательно)*; 2) *образование* сейсмофокальных зон вследствие напряжений, развивающихся в поверхностных оболочках Земли, 3) сильные напряжения, возникающие на стыках континентального и океанического (Тихоокеанского) блока Земли, обладающих различным составом и прочностью; в этом варианте пунктирные сейсмофокальные зоны рассматриваются как второстепенные. В связи с этим вспомним представления многих исследователей о Тихом океане как исключительно устойчивой глыбе Земли и даже как «рельсах», по которым движутся материки модели Штауба, 4) движение и взаимодействие литосферных плит со спредингом и субдукцией или без них (а), с «колебательным» (ритмическим раскрытием и сжиманием глубинного канала) спредингом без субдукции (б), взаимодействие плит с напряжением вдоль границ, но без перемещений (в). Естественно, что все четыре варианта возможны как отдельно, так и в различных сочетаниях.

Геологическая характеристика основных сейсмофокальных *зон (границ плит) представляется важнейшим средством, необ*ходимым, но не достаточным (так как требование достаточности связано с глубинным бурением) для решения поставленных вопросов.

**Характеристика границ плит.** Исходя из характера размещения эпицентров землетрясений, можно выделить три типа границ литосферных плит: *сгущенные, пунктирные* и *рассеянные*. К последнему типу может принадлежать граница Антарктической плиты на западе Южной Атлантики и сейсмоактивная зона Средиземноморья, по которой, как уже говорилось, «с натяжкой» можно было бы обособить Африканскую плиту. Все эти границы относятся к типу дизъюнктивных границ, хотя последние правильнее было бы отнести к нарушенным зонам (дизъюнктивным границам, настолько расплывчатым, что их ширина может достигать многих сотен и даже тысяч километров).

Однако, если в понимание этих границ вносится генетический смысл, отвечающий гипотезе тектоники литосферных плит, то

они называются *конструктивными* или *деструктивными* в зависимости от того, предполагается ли вдоль них наращивание или разрушение плит, или же *наращивающимися, поглощающими* и *скользящими* (горизонтальные перемещения по сдвигам без наращивания или разрушения плит). Деструктивные границы в основном соответствуют сгущенным, а конструктивные — пунктирным. Однако, поскольку границы плит в системе тектоники литосферных плит определяются по сейсмологическим данным, нет достаточных оснований включать Восточно-Африканскую внутриконтинентальную рифтовую систему в мировую систему рифтов, иначе говоря, в систему пунктирных океанических сейсмофокальных зон. Объединение Африканских рифтов с этой системой проводится обычно на основании не сейсмологических, а геологических и других признаков (геоморфологическая аналогия грабен рифтовой долины Срединно-Атлантического хребта с грабеном Танганьики, по Б. Хизену, базальтовый вулканизм, повышенный тепловой поток, разуплотнение мантии).

У В. Моргана [«Новая...», 1974] в определении границ преобладает не сейсмологический, а геолого-морфологический подход. Так, он выделяет *«границы первого типа»,* представленные океаническими поднятиями с формирующейся океанической корой, *«границы второго типа»,* представленные глубоководными желобами (*желобовый тип границ*), а также системами сжатия, т. е. складчатыми горами и зонами утолщения коры, *«границы третьего типа»,* представленные разломами. Блоки могут быть ограничены границами разных типов.

В диагностике скользящих и наращивающихся (конструктивных) границ главная роль принадлежит изучению магнитного поля океанов.

Изучение карты распределения магнитных аномалий восточной части Тихого океана, прилегающей к Северной Америке, не убеждает в обязательном существовании системы широтных разломов (названных Мендосино, Пионер и т. д.) с огромными (свыше 1000 км) горизонтальными смещениями. Магнитные аномалии по обе стороны предполагаемых разломов коррелируются очень неуверенно. Здесь наряду с гипотезой, предполагающей существование таких разломов, может быть высказана альтернативная гипотеза, что наблюдаемая картина связана с вертикальными движениями и (или) горизонтальными сдвигами небольших амплитуд. Напомним тектоническую трактовку линейных магнитных аномалий, характеризующих фундаменты платформ. В 1946 г. Н. С. Шатский по «срезанию» одних систем магнитных аномалий другими судил об относительном возрасте этих систем, причем «срезающую» систему считал более молодой. Затем этот же прием, чуть ли не возведенный в принцип тектонического районирования фундамента платформ по возрасту складчатости, применялся неоднократно при исследованиях Западно-Сибирской плиты. Изучение же подобного рода торцовых структур в открытых (свободных от чехла) хорошо обнаженных

районах показало, что все элементы «торцов», а именно их оба звена и разделяющие зоны поперечных структур могли развиваться единовременно. Особенно показательными в этом смысле оказались многолетние работы А. М. Боровикова, изучавшего структуру сочленения Западного Саяна и Горного Алтая. «Срезающая» структура Алтая и «срезаемая» структура Западного Саяна, а равно разделяющие их полосы поперечных дислокаций оказались одновременно развивающимися. Таким образом, здесь мы имеем дело не с сочетанием разновозрастных элементов, а с одновозрастной системой. Возможно, что и под дном Тихого океана существуют не грандиозные сдвиги, а широтные зоны дислокаций, развивавшихся в общем одновременно с меридиональными зонами. Такое допущение сняло бы весьма существенные противоречия между предполагаемыми огромными горизонтальными амплитудами широтных океанических сдвигов и длительным унаследованием Североамериканских Кордильер, с чем связана ненарушенность (имея в виду значительные поперечные смещения) западной береговой линии Северной Америки. Конечно, здесь может прийти на помощь механизм субдукции, но этот вопрос будет рассмотрен позднее. Дело в том, что существует много факторов, не согласующихся с таким механизмом.

Остановимся на вопросах инверсии магнитного поля в связи с концепцией спрединга. Уже давно установлено явление инверсии магнитного поля по измерениям застывших лавовых потоков, причем «калий-аргоновым методом можно установить хронологию инверсий геомагнитного поля на период приблизительно 4,5 млн. лет, т. е. не древнее того времени, когда ошибки возрастут до такой степени, что замаскируют инверсии. Эпохи прямой полярности произвольно прерываются кратковременными эпизодами *(инвентами)* противоположной полярности. Эпохам и инвентам были даны соответствующие наименования, получившие всеобщее признание в литературе по палеомагнетизму» [Вакье, 1976, с. 45].

В 1963 г. были высказаны гипотезы Вайна и Мэтьюза о том, что линейные магнитные аномалии в северо-восточной части Тихого океана были вызваны разрастанием его дна. В те же годы (1961—1963 гг.) появились другие работы, развивающие подобные идеи. Гипотезы эти основаны на проведении аналогии размещения полосовых магнитных аномалий с хронологической шкалой инверсий, построенных по наблюдениям на суше. Такая аналогия позволяет судить о скоростях разрастания океанического дна. Однако полосовых аномалий значительно больше, чем вмещает шкала, охватывающая 4,5 млн. лет. Для того чтобы и остающиеся «за бортом» этой шкалы аномалии привлечь к расчетам скоростей разрастания, была проведена линейная экстраполяция шкалы до 80 млн. лет.

С течением времени в схеме Вайна — Мэтьюза появляется все больше и больше изъянов, порой заставляющих сомневаться вообще в ее правомерности. Г. Б. Удинцев в 1980 г. пишет о заметных

отклонениях от этой регулярности; линейность аномалий за пределами хребтов теряется, интенсивность их то резко возрастает, то падает до выравнивания поля. В результате же проведенных работ в районе плато Святой Елены и континентального склона Анголы установлено, что магнитные аномалии не обладают линейностью, а образуют мозаичную структуру, как на континентах; интенсивность и локальные аномалии связаны с крупными вулканическими массивами; в Норвежской котловине наблюдается «сложный веерообразный план аномалий», не согласующийся со структурой дна; аномалии вдоль континентальных окраин, превосходящие по интенсивности аномалии Срединно-Атлантических хребтов, предположительно связываются с крупными интрузивными массивами и т. д. Все это очень существенно нарушает идеальную картину ортодоксальной схемы. По данным Г. Б. Удинцева и Я. Г. Смирнова, большие величины теплового потока приурочены к срединноокеаническим хребтам, за пределами которых тепловые поля выравнены; а это свидетельствует о том, что хребты являются фиксированными разломными зонами.

Достаточно реалистичны выводы Г. Б. Удинцева о том, что процесс расширения дна ответствен только за формирование структуры срединноокеанического хребта, а развитие котловин — результат преобразования и погружения континентальных окраин. Это уже почти альтернатива тектоники литосферных плит, но, конечно, тоже гипотеза. Рано выносить окончательные решения. В области глубинной тектоники нами часто еще руководят симпатии, вера в математические расчеты, которые только то и могут показать, чего не может быть, если верны некоторые предпосылки; но без симпатий и эмоций тоже нельзя; они являются как бы ферментами научной деятельности, но связанные с ними воображаемые истины призрачны и эфемерны. Однако утверждения Г. Б. Удинцева очень сильны. Схема их такова: поднятия срединноокеанического хребта («мантийный диапиризм»), не связываемые с конвекцией мантийного вещества или с раздвижением литосферных плит, — разрушение плит на значительных пространствах (а значит, они не жесткие и не наращиваются «конвеерно») — эти процессы нельзя связывать с «предполагаемой концепцией литосферных плит». Гипотеза разрастания требует доказательств симметрии магнитных кривых по обе стороны от оси спрединга. Однако подобного рода симметрии намечаются с трудом. Е. Буллард, который явно отстаивает идею разрастания, пишет: «Хотелось бы пожелать, чтобы в этой и других геофизических проблемах существовали объективные критерии, характеризующие сходство кривых, однако дело это не простое: очевидные признаки подобия, использующие взаимную корреляцию кривых, не очень пригодны, ибо они испытывают повышенное влияние центрального пика и придают малый вес соответствию небольших пиков. К тому же результаты взаимной корреляции подвержены сильному влиянию незначи-

тельных неравномерностей горизонтального масштаба кривых, что может быть вызвано, например, небольшими изменениями скорости разрастания. Подобие — это вообще не простое и лишь отчасти метрическое понятие, оно связано с количеством и последовательностью максимумов, минимумов и нулевых значений, равно как с их положениями и амплитудами. Может оказаться весьма затруднительным формализовать интуитивное представление о подобии» [Вакье, 1976, с. 63].

Порой поиски оказываются настолько усложненными, что приходится говорить о многоэтапности разрастания, т. е. о разрастании с перерывами и различными скоростями, о разрастании, усложненном вращением отдельных участков.

В самом определении симметрии очень много субъективного. Приведем два рисунка. Один (рис. 20), изображающий магнитные профили через Срединно-Атлантические хребты, где уловить симметрию «на глаз» не так-то легко; второй (рис. 21), изображающий каротажную диаграмму одной из скважин Холмского

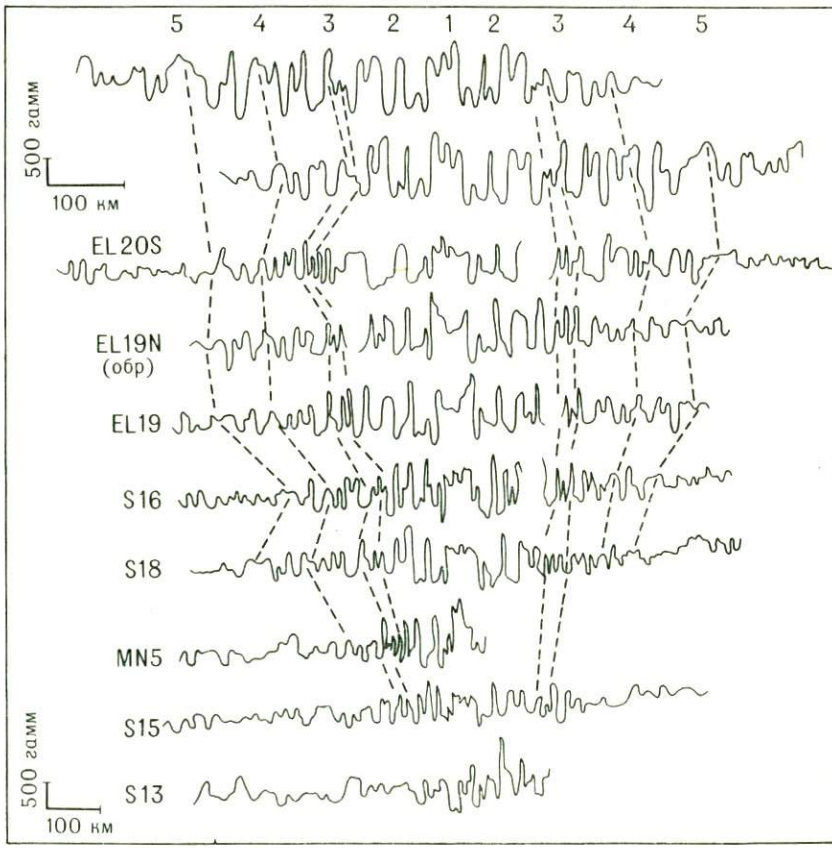
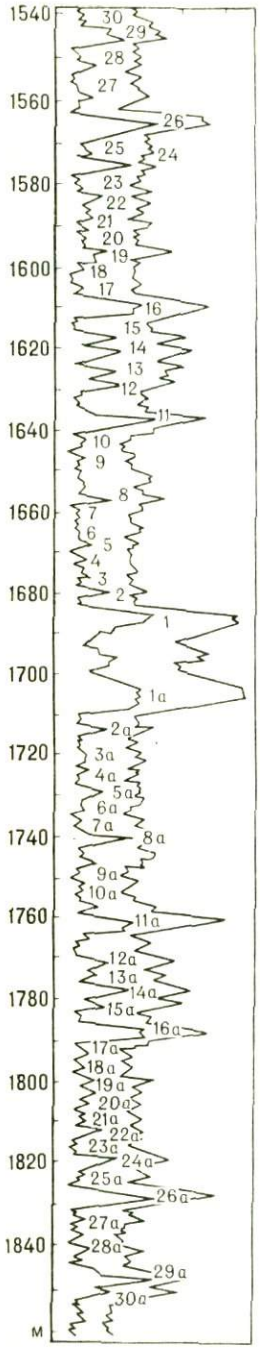



Рис. 20. Магнитные профили через Срединно-Атлантические хребты (из Вакье, 1976, с. 68). Цифры слева — № профилей, сверху — № аномалий.




района Северо-Западного Предкавказья, пересекающей толщу с нормальным и опрокинутым залеганием одних и тех же слоев; последний показывает, как выглядит недвусмысленная симметрия в геологической природе.

В первом случае мы имеем геофизическую кривую, которую стремимся приспособить к предполагаемой симметричной геологической структуре, а во втором — тоже геофизическую кривую, точно сопоставляемую с действительно симметричными *геологическими телами*. Первый случай соответствует недостоверной, а второй — достоверной геологической симметрии. Характер кривых в обоих случаях говорит сам за себя.

Интересно, что даже при явном отсутствии симметрии в магнитных профилях ортодоксальные сторонники «тектоники литосферных плит» находят выход, например, в предположениях о поглощении Алеутским желобом не только северного фланга, но и самого спредингового хребта и части его южного фланга. Определяется даже время начала поглощения как соответствующее началу активной вулканической и магматической деятельности в центральной части Алеутских островов *в раннем миоцене, т. е. 24 млн. лет назад*. В этом построении все уж слишком подчинено общей идее.

Судя по отсутствию симметрии относительно принятой нумерации магнитных аномалий, западное побережье Северной Америки также «съело» спрединговый *хребет, весь его восточный фланг и* небольшую часть западного фланга.

Следовательно, концепция разрастания океанического дна имеет такую логическую инфраструктуру: геохронология магнитных инверсий, установленная на суше, — распространенная аналогия — широкая 18-кратная экстраполяция. Догадка,

Рис. 21. Каротажная диаграмма скважины Холмского района Северо-Западного Предкавказья, пересекающей нормальное и опрокинутое крылья складки

как видим, весьма интересная, но основы ее очень шаткие. Во всяком случае, возможно существование ряда альтернативных гипотез.

Можно, например, допустить существование на значительных участках дна океана систем неподвижных намагниченных линейных тел; такие тела могут быть связаны с разломами, точнее, разрывами, генезис которых можно предполагать различным. Вероятно, они были связаны с горизонтальным перекашиванием крупных участков талассократона подобно образованию регулярной трещиноватости на плитах континентов; возможна также обусловленность их напряжениями, ориентированными в соответствии с контурами континентов.

Даже если принять основанную на аналогиях и экстраполяциях систему инверсий, то и тогда система магнитных аномалий в Атлантическом океане могла бы быть объяснена без разрастания дна. Вариант первый — в конце палеозоя образуется обширный грабен с ограничивающими разломами вдоль берегов континента, а затем с течением времени (возможно, в процессе изживания астенозоны, с которой связано первичное опускание океана) разломы нарушают все более и более удаленные от берегов участки океанического дна, а соответствующие им лавы имеют все более и более молодой возраст (в районе современного Срединно-Атлантического хребта изливаются наиболее молодые базальты). Вариант второй — центр излияния базальтов всегда находился в районе хребта, но ареалы распространения лав сужались с конца палеозоя до современной эпохи. Одновременное прогибание дна океана и осадконакопление оставляли более древние на периферии и более молодые ближе к центру бордюры намагниченных лав, не прикрытые осадками.

При современном состоянии изученности вопроса может быть высказан еще ряд гипотез, допускающих различную роль горизонтальных движений от самой большой до самой малой, причем для различных участков земной поверхности этот вопрос может находить разные решения. В частности, указанные два варианта размещения разновозрастных базальтовых лав в связи с вертикальными движениями могут комбинироваться с горизонтальными движениями как типа сдвигов, так и типа спрединга.

Задача заключается не в том, чтобы «поддерживать» или «опровергать» какую-либо гипотезу, а в том, чтобы, учтя самые разнообразные возможности решений, создать такую программу исследований, выполнение которой наиболее быстро и с наименьшими затратами могло бы приблизить нас к истине.

Теперь следует сказать о поглощающихся и деструктивных границах. При признании широкого распространения спрединговых явлений субдукция очень удобна, чтобы «спрятать концы» плит в глубине мантии. Интересно, что те же магнитометрические расчеты рассматриваются как средство определения скорости субдукции. «Эта скорость (опускание плиты), однако, не может быть установлена по сейсмическим данным, ее следует вычислять

из скорости разрастания океанического дна, определяемой по структуре магнитных аномалий на срединном хребте (или хребта)», как пишет В. Вакье [1976, с. 77]. Иными словами, механизм (точнее, кинематика) субдукции непосредственно выводится из механизма спрединга. Сюда же, таким образом, переносятся все возможные ошибки и сомнения, связанные с определением, признанием или непризнанием спрединга.

Положение океанической литосферы в зонах глубоководных желобов часто аргументируют «срезанием» полосовых магнитных аномалий дна океана этими зонами.

Однако недавно любопытные факты установлены Ю. В. Шевалдиным. Оказалось, что вдоль желобов располагаются системы магнитных аномалий, обнаруживающих симметрию, не менее выраженную, чем симметрия систем магнитных аномалий, связываемых обычно с зонами спрединга. Такая ситуация не подтверждает субдукцию; трудно ее также объяснить наличием самостоятельных спрединговв вдоль желобов. Действительно, если допустить такие спрединги, то исчезает последняя возможность для объяснения судьбы компенсирующих крупные спрединги избытков литосферных плит.

С выводами Ю. В. Шевалдина совпадают геологические данные по Курильско-Камчатскому желобу, полученные сахалинскими геологами Б. И. Васильевым и другими в 1978 г. Желоб асимметричен; крутизна океанического склона 5—7°, островного 7—15° с выполаживанием приосевой части, где ширина желоба всего 12—15 км, до 2—3°. На океаническом склоне первый сейсмический слой представлен миоцен-плиоценовыми диатомово-радиоляриевыми глинами, низы первого и верхи второго слоя содержат прослои кремнистых сланцев, служащих сейсмическим фундаментом; в основании — шаровые лавы базальтов. Океанический слой разбит нормальными сбросами с тектонической ступенью на глубине 6500—6800 м. В приосевой части желоба происходит фациальное замещение океанических отложений мелководными грубообломочными отложениями. Здесь не зафиксировано никакого скучивания или смятия осадков. Желоб, по мнению авторов, образовался в результате растяжения с возникновением сбросов на склонах.

В отношении возможности влияния механизма спрединга на геоморфологические процессы на дне океана интересные мысли высказаны А. В. Ильиным. Он отмечает, что с позиции тектоники плит морфоструктура дна океана рассматривается как последствие спрединга, причем существенные преобразования рельефа дна с удалением от центра расширения исключаются. Он отмечает, например, что при попытках К. Ле Пишона в 1971 г. установить связь рельефа дна Атлантического океана со спредингом, опираясь на идею унаследованности всей океанической морфоструктуры от осевых частей срединных хребтов, были проведены чисто геометрические сопоставления без установления геологической «совместимости» элементов; в частности, выступы,

кристаллического фундамента объединялись послемеловыми вулканическими постройками. А. В. Ильин отмечает, что «распределение современных поднятий и подводных гор за пределами хребта лишено какой-либо симметрии и геометрического сходства» [1978, с. 18]. Так что правомерность идеи симметрии строения дна океанов относительно срединных хребтов вызывает серьезные сомнения не только с магнитологических, но и с геоморфологических позиций. С геоморфологических же позиций А. В. Ильин рассматривает концепцию термальной контракции земной коры океана. Суть этой концепции в том, что «региональный рельеф срединных хребтов аппроксимируется вогнутой кривой, отвечающей закономерному погружению коры по мере увеличения ее возраста. Погружение происходит вследствие остывания тыловых частей литосферных плит, удаляющихся от центра спрединга» [1978, с. 20]. Он считает, что эти теоретические кривые регионального рельефа исключают возможность истолкования морфоструктуры дна, а также определения его возраста по этим кривым. Дно океана представляется транзитной зоной переноса литосферных плит в области активной тектонической переработки (геосинклинальный процесс на краях континентов). При таком транзитном переносе многие геоморфологические формы и процессы в океане не могут быть объяснены. Оказывается необходимым привлекать представления о напряженном тектоническом состоянии и подвижности внутренних частей плит и вулканические процессы, независимые от спрединга. Увеличение мощности земной коры до 15—20 км на океанических поднятиях трактуется Г. Б. Удинцевым как процессы *торошения* (Императорские горы, Гавайские острова, хребты Лайн, Туамоту, Тонга, Кермадек, о-в Новая Зеландия и т. д.) — предвестники геосинклинального развития. В качестве деструктивных границ, вдоль которых предполагается уничтожение плит путем их пододвигания под континентальные блоки и поглощение на глубине на уровне астеносферы и мантии рассматриваются сейсмофокальные зоны периферии Тихого океана, которые часто называют зонами Беньофа, зонами Заварицкого — Беньофа и которые, учитывая приоритет, правильнее было бы называть *зонами Вадати*. Подобного типа сейсмофокальные зоны известны и в Атлантическом океане в районах островных дуг. В поперечном разрезе эти зоны обычно аппроксимируются наклонной под континент ломаной линией с углами наклона от 30 до 70°, но в среднем близкими к 45°, вследствие чего они трактовались (А. Н. Заварицкий) как зоны максимальных скалывающих напряжений, связанных с коллизией Тихоокеанского и континентального блоков. Возникновение таких крупных скалывающих напряжений находило себе объяснение в различном строении и, вероятно, в различной прочности противостоящих блоков, что основывалось на различных геологических (базальты океанов) и геофизических (малая мощность коры в океанах) характеристиках. Существование зон напряжений представлялось и представляется

несомненным, а наличие зон надвигов и поддвигов вполне вероятным, но эти дислокации, естественно, должны устанавливаться геологическими методами. Поэтому и вопрос о существовании или отсутствии субдукции должен прежде всего решаться на основе геологических фактов в пределах Малого континуума. В отношении же различных гипотез, относящихся к области Большого континуума, следует рассматривать не вопрос о том, подтверждают ли эти факты или не подтверждают ту или иную гипотезу, а противоречат или не противоречат они ей. Это позволит спокойнее исследовать факты и будет способствовать смягчению психологического климата в области тектоники. Действительно, одно дело сказать, что факт не противоречит двум гипотезам, другое — настаивать, что он подтверждает каждую из них.

Максимальные скалывающие напряжения возникают под углами 45° к действующим сжимающим усилиям в двух направлениях, перпендикулярных друг к другу. Если возникают преимущественно благоприятные условия для реализации перемещений в одном из направлений максимальных скалывающих напряжений, то сколы во втором направлении могут быть выражены значительно слабее. Так обстоит дело, по-видимому, и на окраинах Тихого океана, где явно преобладают сейсмофокальные зоны, наклоненные под континент. Однако в 1976 г. Р. З. Тараканов в районах Курильской и Японской островных дуг описаны также сейсмофокальные зоны, наклоненные к океану. Эти зоны слабее выражены, но, хорошо прослеживаясь по простиранию на сотни километров, уходят в глубину не более 140 км. Наличие двух зон скалывания вполне закономерно, но это необязательно связывать с какими-либо гипотезами о движениях. Отрадно сознавать, что П. Н. Кропоткин предложил именовать эти вновь открытые зоны зонами Тараканова, но вызывает недоумение его попытка связать их с субдукцией.

Доказательству субдукции посвящена огромная литература: здесь и палеомагнитные реконструкции спрединга, ведущие к идее обязательного поглощения литосферы вдоль деструктивных границ, и сейсмические данные и геохимические модели, опирающиеся на геофизические гипотезы. Б. Айзекс и др. [«Новая...», 1974] приводят совершенно несостоятельные доказательства субдукции. Заметим, что речь идет о несостоятельности доказательства, а не о несостоятельности гипотезы, которая может стоять в ряду возможных предположений, пока не будет доказана или опровергнута. Таков ход их мыслей: 1) в срединноокеанических хребтах (зона растяжения) происходят мелкофокусные землетрясения; 2) литосфера тонка, а в *астеносфере землетрясения происходить не могут*; 3) глубокие землетрясения происходят только там, где бывший материал коры и верхней мантии находится собственно в мантии. Ошибка во втором пункте. Действительно, астеносфера является лишь слоем пониженных скоростей, она, по-видимому, является твердым телом, в котором вполне возможны землетрясения. Жидкой же астеносфера, во всяком случае

на всем ее протяжении, быть не может. Отсюда следует, что третье утверждение полностью голословно. Иногда считается, что наличие повышенных скоростей в сейсмофокальных зонах островных дуг обязано погружающейся литосферной плите. Это опять же связано с ошибкой Б. Айзекса и др. В соответствии с этим рисуется аномальная скоростная зона мощностью 100 км, сверху ограниченная сейсмической зоной. Эти зоны погружаются под дуги и представляют собой не что иное, как зоны Вадати. Но вполне допустима альтернативная точка зрения: сейсмическая и аномальная зоны соответствуют наклоненным под континент под углом 45° или иными углами зонам высоких скалывающих напряжений, возникающих благодаря сжатию на границе огромных блоков Азии и Тихого океана. Следующим звеном в цепи рассуждения Б. Айзекса и других является утверждение (4), что погружающаяся плита — холодная (это, конечно, делает ее более высокоскоростной, более тяжелой и помогает ей погружаться). Резкой критике подвергается представление, что поверхность мантии погружается под островные дуги, а за ними снова поднимается. Небольшие скорости в мантии под островными дугами типичны не только для них, но и для многих областей современной или новейшей тектонической активности. И здесь мантия не «просто прогибается» [«Новая....», 1974, с. 147] (кстати, нельзя говорить о «прогибании» мантии, так как ее поверхность имеет не горнопородную, а скоростную природу), а на ее уровне происходят некоторые геологические процессы, с которыми, по-видимому, связаны андезитовый вулканизм и поднятие дуг и которые изменяют здесь скоростную характеристику земной среды. В равной мере нельзя говорить об утонении коры вследствие растяжения. Много внимания уделяется растяжению под желобами и соотношению его со сжатием, устанавливаемому по изучению механизмов землетрясений. Сосуществование сжатия и растяжения в одних и тех же геологических телах или структурных формах — явление очень распространенное (оно хорошо иллюстрируется даже такой привычной универсальной моделью, как эллипсоид деформаций) и может быть объяснено с позиций самых разнообразных механизмов, при этом не надо питать особого пристрастия, к какому-либо одному из них, а внимательно исследовать различные возможности. Признаки растяжения наблюдаются в структуре дна желобов, а «главная зона пододвигания во многих областях фактически скрыта под водами моря и недоступна для непосредственных наблюдений» [«Новая...», 1974, с. 149], и «для землетрясений глубже 100 км ориентировка фокальных механизмов весьма устойчива» [Новая...», 1974, с. 151].

Остановимся еще на одной логической конструкции Б. Айзекса и др.: 1) согласно Э. Рему и К. Патерсону, при дегидратации водных минералов может освободиться столько воды, что скалывание, а следовательно, и проявление сейсмичности могут происходить при температуре 300—1000°, а Д. Т. Григс показал, что такие реакции могут происходить не глубже 100 км (речь

идет о содержащих воду породах литосферы); 2) глубокофокусные землетрясения происходят на глубинах до 700 км, но они, как это ранее утверждалось, могут происходить только в литосфере; 3) сохранение литосферой на таких глубинах необходимых свойств для скалывания объясняется быстрым ее продвижением вниз, обеспечивающимся скоростями погружения, определяемыми по палеомагнитным данным в соответствии с гипотезой спрединга. В приведенных рассуждениях последовательно подключено несколько гипотез (не фактов), что весьма понижает вероятность последнего заключения. Еще большее недоумение вызывают попытки разработки деталей этого гипотетического и маловероятного представления. Так, Б. Айзекс и др. [«Новая...», 1974] предлагают четыре гипотетических варианта погружения литосферной плиты в зоне конвергенции: 1) длина погруженной части и ее сейсмический потенциал изменены незначительно; глубины глубокофокусных землетрясений зависят от скоростей движения и продолжительности цикла спрединга (наиболее простой вариант); 2) погружающаяся плита «упирается» в мезосферу и деформируется, чем объясняются аномальные особенности геометрии сейсмофокальной зоны и возможность завершения цикла спрединга при достижении плитой мезосферы; 3) глубины глубочайших землетрясений зависят не только от скорости движения плиты, но и от скорости ее абсорбции; 4) кусок литосферы отрывается, что создает перерыв в сейсмофокальной зоне. Если гипотезу субдукции можно считать инструментом исследования, то приведенные варианты можно охарактеризовать только как «игру ума». В действительности геометрия сейсмофокальных зон очень многообразна, что, по-видимому, связано с множеством различных механизмов разрешения огромных напряжений на стыке Азиатского и Тихоокеанского блоков. Попытки свести все это многообразие к единому механизму вряд ли могут быть успешными. Возьмем Курильскую дугу, в условиях которой по вышеизложенным представлениям должен осуществляться четвертый вариант. Однако из гравиметрических данных следует, что разрыв между очагами землетрясений связан с разломами, оконтуривающими Курильскую котловину Охотского моря. Глубина наиболее глубоких землетрясений по гравиметрическим расчетам вполне увязывается с нижней кромкой вертикального разлома (ограничивающего котловину с северо-запада).

Еще одна «игра ума» касается корреляции длин сейсмических зон и вычисленных скоростей пододвигания. Это в сущности корреляция между путем и скоростью. Интересно, что в основу решений положены две гипотезы: во-первых, что современные сейсмические зоны созданы в течение последнего эпизода спрединга (10 млн. лет), во-вторых, те же 10 млн. лет рассматриваются как временная константа для ассимиляции литосферы верхней мантией. Эти две совершенно произвольные константы времени говорят, насколько глубоко можно увязнуть в дебрях досужих вымыслов, если пытаться до такой степени детализировать

концепцию тектоники плит, которая является только гипотезой и которая, как и любая другая научная гипотеза, достойна внимания и проверки, мало того, она является немаловажным стимулятором исследования и согласования *фактов*. Сказанное, к сожалению, помогает не развить, а скомпрометировать концепцию тектоники литосферных плит.

Авторы работы «Новая глобальная тектоника» [1974] высказывают рискованную идею, что «лишь немногие научные работы являются полностью объективными и беспристрастными; данная работа этим не отличается. Она явно направлена в защиту новой глобальной тектоники и отдает явное предпочтение варианту мобильной литосферы» [1974, с. 138—140]. Все же, пожалуй, объективность и беспристрастность — важные черты подлинного научного исследования. К каждой научной гипотезе надо относиться бережно и ценить ее как инструмент познания, но нельзя из нее делать фетиш; она ведь только гипотеза, она может появиться и исчезнуть, оставив свой след и принеся пользу науке.

## Пульсационная гипотеза Е. Е. Милановского

Е. Е. Милановский свои геодинамические представления во времени ограничивает фанерозоем. Этот подход надо признать правильным, так как фанерозой в своей истории и аргументирующих эту историю толщах пород и совокупности событий значительно более доступен нашему пониманию, а следовательно, историко-геологическим и геотектоническим реконструкциям, чем докембрий с вуализирующим его структуру и историю метаморфизмом. В качестве основных достижений геологической науки последнего двадцатилетия, которые должны сыграть роль в обновлении взглядов на геологическое развитие, Е. Е. Милановский указывает: 1) открытие мировой рифтовой системы, отличающейся от геосинклинальных систем преимущественно явлениями спрединга; 2) полосчатая структура магнитного поля океанического дна, не свойственная континентам; 3) подстилание осадков океанического ложа юрскими, меловыми или кайнозойскими базальтами; 4) установление сейсмическими исследованиями астеносферного слоя «под большей частью поверхности Земли», более мощного под океанами и подвижными зонами континентов; 5) изучение офиолитов как реликтов «коры океанического типа» ранней стадии эвгеосинклиналей и последующего их сжатия и шарьирования; 6) изменение положения крупных блоков относительно магнитной оси Земли и относительно друг друга (по палеомагнитным исследованиям).

Все эти данные хорошо известны и используются во многих построениях. Но они являются лишь отчасти фактическими, а большей частью гипотетическими и, естественно, могут трактоваться по-разному. Уже при характеристике границ литосферных плит мы отмечали существенные проблемы концепции мировой системы рифтов, системы же линейных магнитных аномалий

свойственны и частям континентов, где они отражают структуру их архейских фундаментов (вспомним схемы Н. С. Шатского и других по Восточно-Европейской платформе и опыт прослеживания по параллельным пучкам линейных аномалий структурных связей между алданским и анадырским археем в Сибири); далее отметим неполноту высказывания о подстилании осадков в океанах мезозойскими и кайнозойскими базальтами, хотя бы потому, что океаническое дно исследовано бурением на относительно небольшие глубины; напомним о прерывистости астеносферы, а точнее, астенозон, о спорности и многозначности решения проблемы офиолитов и, наконец, об односторонности и узости доказательств вращения и крупных перемещений блоков гипергенной оболочки, литосферы и земной коры. Все это говорит, что перечисляемые Е. Е. Милановским достижения геологических наук являются не открытиями, а лишь постановкой вопросов, причем все эти вопросы кардинальные, намечающие новые пути и открывающие огромные горизонты для современных и будущих исследований.

«Одним из главных достоинств концепции тектоники плит,— пишет Е. Е. Милановский,— выгодно отличающим ее от многих других тектонических гипотез, является присущий ей глобальный подход к анализу тектонических движений и деформаций, одновременно происходящих в разных областях Земли» [1978, с. 4]. Неточность этого утверждения нами была уже показана в разделе «Старая глобальная тектоника». Действительно, в контракционной гипотезе, гипотезах А. Вегенера и Р. Штауба, во взглядах А. Д. Архангельского и Г. Штилле явно проявляется глобальный подход.

Прежде чем перейти к изложению, анализу и оценке гипотезы, остановимся на неточностях и достоинствах некоторых высказываний, играющих роль предпосылок. Так, неверно, что концепция литосферных плит предполагает проскальзывание тонких плит по астеносферному слою. Это было свойственно гипотезе Вегенера, где действительно материки скользили по субстрату и плавали по нему, как корабли, в новой же («неомобилистской») гипотезе субстрат несет литосферные блоки и они не проскальзывают по нему. Такой механизм вполне возможен, если существует конвекция (глобальная или локальная в астенозонах, быстрая или сколько угодно медленная, единая или многопорядковая, непрерывная во времени или прерывистая, захватывающая лишь астеносферу — астенозоны, или связанная с ячейками, распространяющимися до внешнего ядра), и при этом могут быть вполне реальными тектонические процессы, связывающие, грубо говоря, по вертикали (но вполне возможно по более сложным линиям и поверхностям) тектонические движения и деформации у земной поверхности, в недрах литосферной плиты и во всем конвекционном потоке, несущем эту плиту. Эти процессы могут быть унаследованными, но крайней мере, в течение того интервала времени, когда литосферная плита остается «прикреп-

ленной» к несущему конвекционному потоку. С этим связано высказанное ранее соображение, что тектоника континентов, характеризуемая теорией геосинклиналей, принципом унаследованности и многими другими достижениями геологической теории, совершенно инвариантна по отношению к различным разновидностям мобилизма и фиксизма. Опыт исследования геологического строения и геологической истории континентов остается незыблемым фундаментом геологических знаний. Это, по существу, подтверждается и Е. Е. Милановским, указывающим на неразрывную и очень длительную связь коры кратонов с мантийным субстратом, по крайней мере, до глубин в несколько сотен километров. Это же увязывается и с нашими соображениями о несплошном распространении астеносферы и, как правило, отсутствии астеносферы под древними платформами. Конечно, поскольку мы здесь входим в область Большого геологического континуума, представления наши могут быть лишь гипотетическими. В частности, нельзя полностью исключать возможность существования вязкостной астеносферы на небольших глубинах под платформами, никак не отражающейся в сейсмическом поле, но никаких, даже косвенных, доказательств этому нет. Вообще же в области Большого континуума можно сделать огромное количество противоречивых допущений, сформулировать множество гипотез, построить на них сложнейшие математические расчеты, но они будут точны только в математическом смысле и смогут скрыть самые простые идеи под непроницаемым лабиринтом формул, часто гипнотизирующих читателя и практически не раскрывающих ему доступа к сущности вопроса.

Нельзя не согласиться с Е. Е. Милановским в том, что концепция тектоники литосферных плит не способствует выяснению хода и особенностей геологической истории, рисует перманентный и однообразный кинематический процесс для кайнозоя и мезозоя, неправомерно экстраполирует его в глубь геологических времен и сопровождается не согласующимися друг с другом частными (локальными) кинематическими моделями, количество которых растет, как «снежный ком».

Все эти совершенно справедливые соображения приводят Е. Е. Милановского к созданию собственной гипотезы, снимающей ряд перечисленных противоречий.

Тремя основными посылками этой гипотезы являются признание периодичности тектонических движений, вулканизма и эвстатических колебаний уровня Мирового океана; главным выводом — признание пульсационного развития Земли, т. е. смены эпох сжатия и растяжения в ее истории. Основу гипотезы составляет эмпирическое обобщение геологического материала без разработки физического механизма процесса.

Выделяются тринадцать эпох сжатия (складчатости); позднеальпийская (поздний неоген — средний палеоген), ларамийская (ранний палеоген — поздний мел), субгерцинско-австрийская (поздний мел — ранний мел) и т. д. Затем выделяются периоды

активизации рифтовых зон, отвечающие промежуткам между эпохами сжатия, и наконец, «главные проявления негеосинклинального вулканизма», грубо соответствующие периодам активизации рифтовых зон и отвечающие, как и они, эпохам растяжения. Затем все это сопоставляется с глобальными эвстатическими колебаниями. Число эвстатических циклов равно числу циклов тектонической активности; регрессии соответствуют эпохам усиления деформации, а трансгрессии — эпохам растяжения (рифтогенеза). Синтез всех этих данных (эпохи складчатости, эпохи активизации рифтовых зон, проявления внегеосинклинального вулканизма и глобальные эвстатические колебания) приводит автора к выводу о пульсации Земли, причем сжатие соответствует регрессиям и эпохам складчатости, а растяжения — трансгрессиям, рифтогенезу и внегеосинклинальному вулканизму, проявляющемся в различных формах.

Получается достаточно согласованное сопоставление, но недостатки построений очевидны. Они заключаются, во-первых, в том, что совершенно не раскрыта методика построения отдельных графиков (статистические приемы, способы и точность определения максимумов и минимумов), во-вторых, в широком и недостаточно критическом использовании «книжного» материала, заключающего разнородные данные. Думается, что главной задачей автора гипотезы должно являться создание надежной методической основы ее построения. Надо, в частности, придерживаться более строго принципа специализации. В рассматриваемой работе, как и во многих других, опять речь идет о растяжении, приводящем к «утонению» континентальной коры в миогеосинклиналях и «разрыву ее сплошности» в эвгеосинклиналях. Напомним, еще и еще раз, что «кора» — понятие сейсмологическое, и речь может идти только об изменении скоростных границ (разделов), но не о разрывании и утонении.

В целом гипотеза нуждается в тщательной методологической проработке, так как сама по себе она представляет, несомненно, очень большой интерес и, возможно, намечает наиболее правильный путь в исследовании развития структуры Земли.

Попытаемся пояснить преимущества данной гипотезы не столько с позиций естествознания, сколько с позиций философии.

Мыслимы четыре возможные ситуации изменения или сокращения объема Земли во времени. Обозначим их соответственно формулами $V_1 < V_0$, $V_1 > V_0$, $V_1 = V_0$, $V_1 = V_0 \pm \Delta V$, где $V_0$ — объем Земли на ранней, а $V_1$ — на более поздней стадии; $\Delta V$ — приращение объема Земли.

В первом случае объем Земли уменьшается, что соответствует контракционному механизму или сжатию при охлаждении; после открытия радиоактивности и начала определения радиометрического возраста горных пород контракционная гипотеза отпала, так как стало ясно, что Земля, сжимающаяся от охлаждения, давно бы потеряла все свое тепло, сжатие прекратилось бы, что находилось бы в противоречии с историко-геологическими

реконструкциями, подкрепленными определениями радиометрического возраста.

Второй случай касается расширяющейся Земли. Этот процесс противоречит гравитационной природе нашей планеты; именно благодаря гравитации Земля имеет фигуру, близкую к фигуре гравитационного равновесия. Если бы стали преобладать силы, в течение длительного периода противодействующие гравитационным силам, и преобладать над ними, Земля бы потеряла эту свою фигуру. Форму Земли в таком случае нам весьма трудно предугадать.

Третий случай — неизменность объема Земли. Но этому противоречит существование слоистой гипергенной структуры. Уже обращалось внимание на то, что отложение (образование слоя) в одном месте планеты требует возвышения (размыв) или понижения ее поверхности в другом месте (что может быть вызвано уплотнением или оттоком глубинного вещества или же излиянием лав). При этом меняются радиусы Земли. Кроме того, хорошо известны случаи уплотнения и разуплотнения вещества Земли (гидратация и дегидратация минералов, разбухание и уплотнение глин), при которых происходит увеличение или уменьшение радиуса Земли в некоторых ее точках. Приведенные в скобках примеры создают ничтожный эффект в увеличении или сокращении радиусов Земли в отдельных точках ее поверхности. О глубинах Земли наши представления гипотетичны, но мы вправе предполагать существование подобных глубинных процессов значительно больших масштабов (например, гипотеза эклогитизации). Эти соображения говорят о невозможности точного сохранения объема Земли.

Четвертый случай соответствует пульсированию Земли, предусматриваемому гипотезой Е. Е. Милановского (а до него — гипотезами В. А. Обручева и М. А. Усова, 1940 г.). Из рассмотрения первых трех случаев в итоге исключения возможности каждого из них остается четвертый случай как наиболее вероятная реальность. Для выяснения преимуществ различных вариантов необходимы разносторонние теоретические и эмпирические обобщения на единой методологической основе, а также построение физических моделей эволюции Земли как планетного тела, а также ее отдельных оболочек. Надо, однако, иметь в виду, что глобальный анализ геологических данных, необходимых для решения и хотя бы продвижения поставленного вопроса, представляет собой очень сложную и трудоемкую задачу. Только первой ласточкой можно считать разрабатываемую в последние годы Международную программу геологической коррекции. Важнейшим средством должны быть геофизические измерения, связанные с определением размеров Земли. И для того, чтобы уловить и ограничить таким образом хотя бы один цикл схемы Е. Е. Милановского, потребуются миллионы лет, т. е. время, которым мы, может быть, не будем располагать; широкая программа глобальных регулярных измерений современных движений могла бы дать

точный материал для оценки формы и размеров Земли и из изменений, происходящих за сравнительно короткое время.

Кроме того, процесс пульсации Земли не может быть выражен, как это сделано у Е. Е. Милановского, только простыми двумерными диаграммами, в которых на общую ось геологического времени наносятся величины, отражающие интенсивность тех или иных процессов и, следовательно, максимумы и минимумы их проявления. Этот процесс может быть представлен по-разному для различных участков Земли, и схема пульсации может иметь не только временной, но и региональный аспект.

Так или иначе, идея Е. Е. Милановского о пульсирующей Земле, высказанная в настоящее время после накопления огромного нового фактического материала, в частности по океанам, и рождения множества новых гипотез и подходов в изучении Земли, имеет первостепенное значение и нуждается в дальнейшей разработке.

### Гипотеза расширяющейся Земли

При рассмотрении гипотезы Е. Е. Милановского — новейшего варианта представления о пульсирующей Земле — было отмечено, что гипотеза о расширяющейся Земле противоречит ее гравитационной организации. Механизм, обусловливающий расширение Земли, совершенно неясен, но это не значит, впрочем, что он никогда не будет представлен хотя бы в виде гипотезы. Тогда и только тогда, когда будет выдвинуто представление о механизме, можно будет всерьез рассматривать гипотезу расширения.

Гипотеза эта была предложена в 1933 г. О. С. Хильгенбергом, обоснована чисто геологическими данными без раскрытия ее физического механизма. Ее развивали также Л. Эгьед в 1957 г., С. У. Кери в 1958 г., Б. Хизен в 1960 г. и др. Эта гипотеза, если можно так сказать, принадлежала к тому же семейству, что и гипотеза А. Вегенера, но объясняла раздвижение материков не их плаванием по симе, а за счет расширения Земли. Материки, таким образом, составляли основу первичной земной поверхности, а океаны образовывались заново. «Коровая Земля» О. С. Хильгенберга была маленькой и целиком покрыта континентами. Учитывая, что площадь океанов составляет 70 % современной поверхности планеты, можно представить себе, насколько грандиозным было мыслимое расширение Земли. Важным событием в истории гипотезы расширения явилась книга В. Б. Неймана 1962 г., в которой рассматривается вариант гипотезы, разработанной совместно с И. В. Кирилловым. В. Б. Нейман указывал, что современные материки могли бы сомкнуться на шаре с радиусом в два раза меньшим, чем у современной Земли; при этом они могли менять свою ориентировку и вращаться в соответствии с предположениями, основанными на палеомагнитных исследованиях. Так, в реконструкциях «коровой Земли» западные берега Северной и Южной Америки совмещены, Антарктида зажата между восточ-

ным побережьем Азии и Австралией. Считается, что океаны могли возникнуть в результате разрыва единой коры после того, как сформировались домезозойские структуры. Возникает вопрос: происходило ли расширение Земли без приращения или с приращением вещества? В. Б. Нейман пишет, что если приращения вещества не было, то в меловом периоде, когда Земля была в два раза меньше, ускорение силы тяжести было в четыре раза больше современного, а в раннем палеозое в девять раз больше. В таких условиях, по его мнению, организмы, которые мы находим в слоях земных, не могли бы существовать, они бы самораздавливались. В связи с этим предлагается идея расширения Земли с приращением вещества. Космический источник ничтожен, а «новый процесс» рождения вещества внутри Земли обосновывается слишком далекими и совершенно не подкрепленными экспериментом физическими гипотезами. Это касается возможностей «значительного» расширения Земли. Но можно говорить и о «незначительном» расширении Земли. Аргументация этой возможности подробно рассмотрена Ю. А. Трапезниковым в 1963 г. Однако при этом варианте (вследствие ничтожности изменения размеров) тектоническая деформация Земли не получает объяснения. Здесь дело заключается не в «рождении» вещества, а в уменьшении гравитационной постоянной с кембрия до наших дней на 4 %, согласно гипотезе Иордан — Дирака о зависимости гравитационной постоянной от возраста Вселенной.

В связи с гипотезой Вегенера и гипотезой «значительного» расширения Земли хочется обратить внимание на специфический метод тектонических построений, который можно было назвать *методом кройки*. Он заключается в поисках решения тектонических задач путем перемещения выкроек материков, крупных островов, «литосферных плит» и т. д. на плоскости (проекции географических карт) или же на поверхностях шара постоянного или меняющегося объема. При этом методе учитываются только контуры выкроек, но не принимается во внимание геологическая история, а иногда и структура. Метод крайне напоминает детские игры с комбинацией фигур, вырезанных из фольги, бумаги или картона. Невязки, полученные в подобного рода реконструкциях, разрешаются или введением новых небольших выкроек (малых плит, погрузившихся островов и т. д.), разломов, предполагаемых складчатых систем, или просто оставлением пустых «несущественных» промежутков, а также дроблением отдельных выкроек путем отсекания от них неудобных кусков. Построение на шаре сложнее, чем на плоскости, так как часто требует использования аппарата сферической тригонометрии и расчетов, связанных не только с поступательным движением выкроек, но и с их вращением. Техника метода кратко описана В. Б. Нейманом. Он указывал, что И. В. Кириллов делал выкройки материков с обычного школьного глобуса; выкройки изготовлялись из фольги. Затем края выкроек сжимались с тем, чтобы их сделать более выпуклыми, и выкройки переносились на шар меньшего диаметра. Затем следовала

длительная опытная работа по расположению выкроек на малом шаре. В других случаях выкройки не наклеивались на плоскость или шар, а операция их размещения проводилась путем расчетов. Существуют еще кинематические модели, строящиеся методом кройки. В них учитываются не только расположение, но и взаимное перемещение выкроек, а также скорости таких перемещений, причем в варианте «тектоники литосферных плит» они могут расходиться (спрединг), а также подползать друг под друга (субдукция).

Главная роль в этих экспериментах принадлежит по праву К. Ле Пишону [«Новая...», 1974]. К. Ле Пишон в своих построениях опирался на скорости спрединга, устанавливаемые по системам магнитных аномалий, и приходил к выводу, что процесс спрединга хорошо аппроксимируется лишь одним вращением. От простой модели, связанной с проекцией Меркатора, К. Ле Пишон пришел к более сложным построениям на других проекциях и определил координаты ряда центров вращения, с которыми связал существующие системы параллельных магнитных аномалий, трактующиеся как следы движения краев плит с определенными (разными) скоростями. Им намечается Южно-Тихоокеанский, Атлантический, Индийский и другие центры вращения. Автор пишет, что ему пришлось прибегать к значительным упрощениям и генерализации, а также к частичному использованию ненадежных и неточных данных. Под этим, по-видимому, подразумеваются значительные невязки в работе с «выкройками». Так или иначе, достоверно или недостоверно «спрединговая площадь» Земли была определена. Оговоримся, что речь идет не об обязательно реально существующем спрединговом пространстве, а только лишь о рассчитанном на основании гипотетических предпосылок и смелых экстраполяций. Эта «новая поверхность Земли» перемещается к местам поглощения, большая часть которых расположена вдоль западной окраины Тихого океана и Альпийско-Гималайского пояса [«Новая...», 1974, с. 113]. Площадь спредингового пространства и протяженность зон поглощения позволяют достаточно просто (с учетом местных особенностей вращения блоков, вариаций вычисленных скоростей спрединга и т. д.) установить скорость «поглощения», которая определяется примерно в 6—9 см в год. Задача эта, которую К. Ле Пишон считает «одним из важнейших результатов данного исследования», является лишь кинематическим вариантом работы с выкройками (правда, с применением ЭВМ), почти нацело лишенной связи с историко-геологической и геолого-структурной основой.

Несмотря на неопределенность и невыясненность таких связей, когда мы говорим о «методе кройки», совсем не хотим вложить в это выражение какой-нибудь дискриминационный смысл. Оно просто представляется нам достаточно наглядным и образным. Мало того, вероятно, «метод кройки» в кинематическом варианте вполне перспективен, поскольку им выяснены некоторые весьма интересные и общие отношения и связи линейных магнитных ано-

малий океана. Поэтому исследования должны всячески углубляться и детализироваться, хотя и неизвестно, к каким геологическим результатам они могут в конце концов привести. С одной стороны, не исключено, что эти результаты окажутся более существенными, чем выводы о плитной тектонике, т. е. о спрединге, движении плит и субдукции. С другой стороны, возможно, что они помогут подтверждать и развивать концепции плитной тектоники, но это возможно только при получении принципиально новой и достаточно сильной геолого-геофизической аргументации.

Гипотеза «литосферных плит» предполагает (и, по-видимому, вполне справедливо) постоянство размеров Земли и в этом смысле является альтернативой гипотезе расширяющейся Земли, К. Ле Пишон дает геометрическое определение последней гипотезы. Действительно, при расширении Земли каждый ее большой круг должен был бы расширяться с одинаковой скоростью. По спрединговым (палеомагнитным) реконструкциям, однако, большая часть спрединга осуществляется относительно меридиональных осей и только небольшая — вдоль широтных. Так, большой круг при Южно-Тихоокеанском центре вращения расширяется со скоростью 12—17 см в год на Восточно-Тихоокеанском поднятии или на 1700 км последние 10 млн. лет, «тогда как часть меридиональных больших кругов не должна была расширяться вовсе» [«Новая...», 1974, с. 107]. Однако с позиций «расширяющейся Земли» Ю. В. Чудинов приводит весьма существенные возражения против «выкроечных» построений сторонников гипотезы «литосферных плит». Так, по смыслу этой гипотезы каждая литосферная плита должна обладать наращивающимися и поглощающимися границами. Например, Африканская плита должна наращиваться как со стороны Срединно-Атлантического, так и со стороны Срединно-Индийского хребтов; она не может воспользоваться «поглощающей» Альпийской зоной, так как движется параллельно ей. Соответственно Антарктическая плита целиком окружена нарастающими границами. Предполагается, что разрастание плит может компенсироваться сдавливанием «континентальной коры» Индии и Евразии с образованием Тибета. Ю. В. Чудинов показал, что компенсация разрастания Африканской и Антарктической плит потребует перемещения избытков плит к северу на расстояние 7000 км (т. е. до Северного Ледовитого океана), что совершенно нереально, так как ширина Тибета всего 1500 км.

Следует признать, что контраргументации сторонников обеих гипотез достаточно убедительны. Здесь противопоставление двух гипотез происходит только на уровне «метода кройки». Геологическая аргументация, а равно и сущность геологических процессов остаются в стороне. Дело ограничивается только геометрическими и кинематическими манипуляциями с «выкройками», да и то при необходимости с допущением большого произвола.

«Метод кройки» открывает огромные возможности для дискуссий между сторонниками «тектоники плит» и «расширяющейся Земли». Важно, что в этом противопоставлении гипотез не

подвергается никакому сомнению устанавливаемое по линейным магнитным аномалиям образование новых пространств с «корой океанического типа». Согласно тектонике плит, одновременно с новообразованием литосферы в океанах равные ее объемы погружаются в глубины Земли в зонах поглощения, а согласно другой гипотезе эта новообразованная литосфера не поглощается, а служит расширению планеты. Общим недостатком обеих гипотез (по крайней мере, в отношении их аргументации «выкройками», да и во многом другом) является полная несогласованность их с возможной неоднородностью астеносферы и с ее несплошным распространением (при условии, конечно, если вообще считаться с определяющей тектонической ролью астеносферы), так как в этом случае создается очень сложная система связей поверхностных дислокаций с их астеносферными очагами, которая никак не может быть раскрыта простым перемещением «выкроек» по шару даже с попутным введением малых плит и других дополнительных элементов, которые оказываются необходимыми только при признании свободного движения поверхностных земных оболочек.

Нельзя считать абсурдной ни гипотезу «литосферных плит», ни «гипотезу расширяющейся Земли», так как существует некоторая вероятность, что в будущем могут быть предложены удовлетворительные механизмы для той или иной гипотезы. Однако на уровне сражения «выкройками» эти две гипотезы весьма легко «примирить»; достаточно считать, что никакого спрединга, реконструируемого по магнитным аномалиям, вообще не существует. Тогда произойдет как бы аннигиляция обеих гипотез. Спрединг, реконструируемый по линейным аномалиям, вполне возможен, но возможность его очень мала в связи с многочисленностью гипотез и размаху экстраполяций, включаемых в интерпретацию этих аномалий. Будет ли означать «аннигиляция» гипотез их бесполезность, бесплодность затраченных на них усилий? Отнюдь нет. Многочисленные идеи, разработки, открытия, методики, несомненно, войдут в «алмазный фонд» науки. Они-то и помогут разобраться в тех весьма сложных тектонических и историко-геологических ситуациях, которые связаны с неоднородностями оболочек Земли. Это будет решение локальных и частных задач на пути открытия настоящих общих законов геологии.

В интересах достижения «математической точности» в модели литосферных плит В. Морган [«Новая...», 1974] допускает, что каждый блок коры обладает «абсолютной жесткостью». «В пределах Тихоокеанского или любого другого блока коры, как предполагает автор, отсутствуют растягивающие усилия, инъекции крупных даек, утолщения коры или какие-либо другие нарушения, которые вызывали бы изменения расстояний между отдельными точками в этих блоках. Если данные допущения верны, то выводы автора будут согласовываться с наблюдаемыми явлениями: если оно лишь частично удовлетворяет действительности, то, по-видимому, можно будет оценить степень несоответствия, сравнивая предложенную модель с наблюдаемыми фактами» [«Новая...»,

1974, с. 69—70]. Постановка вопроса очень хороша — она дает зеленый свет дискуссиям и новым исследованиям. А вот в отношении математической строгости (модели, любой абстракции и т. д.) надо заметить, что при ее достижении мы, *с одной стороны*, можем получить огромные преимущества, если включим в нее самые существенные кардинальные факты, оставив в стороне огромную *массу несущественных* для решения данной естественно-исторической задачи, с другой стороны — мы можем принять несущественное за существенное; в таком случае математическая строгость будет только вредна. В. Морган приводит ряд свидетельств «в пользу существования крупных жестких блоков коры» [«Новая...», 1974, с. 92]. «Жесткость свойственна не только континентальным, но и океаническим площадям; эта жесткость не может быть обеспечена *одной тонкой земной* корой, поэтому уделяется предпочтение *тектосфере* мощностью около 100 км, которая должна быть способной к передаче напряжений, даже равных пределу прочности» [1974, с. 92]. С нашей точки зрения, все это лишь вариант «метода выкроек», которые также «жестки» и совершенно не отвечают более сложной природной ситуации, включающей геосинклинали различных типов и возраста, щиты, плиты, поднятия и т. д., обязанные более сложным и *разнообразным* глубинным тектоническим процессам, чем движения блоков и жестких литосферных плит.

### Геотектоническая гипотеза А. И. Суворова

Гипотеза очень интересна, и ее можно рассматривать как геодинамическую, хотя она коренным образом отличается от гипотез В. П. Мясникова и Е. В. Артюшкова. Первая из этих гипотез основана только на рассмотрении физической стороны геодинамического *механизма*, *вторая*, кроме того, в небольшой мере использует геологические данные. Гипотеза А. И. Суворова почти целиком основана на геологических данных; геофизические материалы в ней отражают лишь мощности коры и глубины очагов землетрясений. Гипотеза основана на почти априорном признании пластичного субстрата коровых глыб или так называемых *тектонопар*. В этой гипотезе не рассматривается вопрос о «стыковке» геологических данных с моделями внутриземных *физических* или физико-химических процессов. Они принимаются автором в готовом виде только как возможность допускаемых им глубинных течений.

*Важной* чертой гипотезы является то, что в ней в равной мере рассматриваются океаны и континенты, и поэтому она с бóльшим правом может называться глобальной, чем тектоника литосферных плит, которая иногда обозначается как «новая глобальная тектоника», хотя оперирует преимущественно *океаническим* материалом.

Интересной также особенностью гипотезы является нестандартный подход к выделению основных структурных форм на поверхности Земли. Вместо привычных геосинклинальных и плат-

форменных областей, талассократонов и т. д. автор выделяет тектонопары, под которыми подразумевает «системы из двух равновеликих, пространственно и парагенетически взаимосвязанных структурных элементов, характеризующихся полярно различными динамо-кинематическими параметрами» [Суворов, 1978, с. 3]. Каждая тектонопара состоит из дугообразного поднятия и примыкающей к нему с внутренней стороны изометрической депрессии. Основными свойствами тектонопар являются сопряженные поднятия и депрессии, их синхронное развитие, утолщенная кора и тонкий осадочный слой на поднятиях, пережатые линейные складки и сдвиго-надвиги в поднятиях при мозаичной структуре сбросов и раздвигов в депрессиях, преобладание в поднятиях динамометаморфизма и интрузий при усиленной эффузивной деятельности в депрессиях. Различаются континентальные, переходные и океанические тектонопары. Тектонопары не покрывают всей поверхности планеты, а следовательно, не являются средством тектонического районирования; они выделяются лишь как отдельные структурные формы, важные, с точки зрения автора гипотезы, для понимания геодинамического процесса.

Континентальные тектонопары характеризуются мощной корой, длина их 700—4000 км, ширина 300—3000 км, площадь 0,5—10 млн. км$^2$, превышение поднятий над депрессиями 0,5—8 км. Наиболее крупной является Альпийско-Средиземноморская тектонопара, к поднятию которой относится вся Альпийская Европа до Рейнского грабена включительно, а также складчатые сооружения Малой Азии, Копетдага и Ирана, а к впадине — Средиземное море, северная окраина Африки и Мессопотамский прогиб.

Океанические тектонопары характеризуются тонкой корой, длина их 5000—6000 км, ширина 3000—4000 км, площадь 2—25 млн. км$^2$; превышение поднятий над депрессиями — 2—5 км.

В переходной области тектонопары наиболее контрастны; длина их 1000—4000 км, площадь 0,5—10 млн. км$^2$. Фронтальным поднятием, как правило, соответствуют краевые дуги, а тыловым депрессиям — окраинные моря. Особенность тектонопар переходной области — наличие перед фронтальным поднятием глубоководного желоба, появляющегося лишь при превышении поднятия над депрессией не менее 4—8 км, глубина депрессий 3—4 км ниже уровня моря, а длина дуги в 1,5—2 раза больше радиуса ее кривизны.

Поднятие континентальных, океанических и переходных тектонопар характеризуется относительно увеличенной мощностью коры и современным (новейшим) ростом, новейшими горизонтальными подвижками и сильной дислоцированностью молодых отложений, новейшим интрузивным магматизмом (Альпийская Европа, Япония, Кордильеры, Анды и т. д.).

Выделив тектонопары, А. И. Суворов выясняет их возможное геодинамическое значение. Так, «сжимающие напряжения в очагах землетрясений ориентированы чаще всего вкрест простирания региональных тектонопар (Тихоокеанское кольцо, Кавказ, Памир

и др.). Очевидно, дугообразные поднятия в новейших тектонопарах действительно являются структурами горизонтального сжатия» [1978, с. 9]. При этом предполагается, что сравнительно небольшая глубина очагов землетрясений свидетельствует о сжатии самых верхов литосферы, которое ведет к росту поднятий, и далее— «основой механизма формирования тыловых депрессий следует считать горизонтальное растяжение верхних частей литосферы (очевидно, выше очагов проявляющихся здесь глубокофокусных землетрясений), которое сопровождалось их проседанием, дроблением, дальнейшим растаскиванием и образованием, в конечном счете, систем простых мозаично-глыбовых структур» [1978, с. 10]. Общий для тектонопары геодинамический механизм мыслится в оттоке масс из-под тыловых депрессий и нагнетания их в поднятия. Рассмотрение совокупностей тектонопар позволяет судить о геодинамической обстановке на больших пространствах. Так, указывается, что ориентировка и дугообразное изгибание поднятий свидетельствуют о преобладающем перемещении глубинных масс к востоку и западу, но не к полюсам. Однообразной ориентировкой обладают тектонопары Северной Евразии от Верхояно-Колымской до Баффиновой, что связывается с однонаправленным глубинным горизонтальным течением, неоднократно трансформировавшимся в вертикальное с образованием тектонопар. Это представление А. И. Суворова согласуется с высказанным в главе V предположением о возможности преобразования связанных с лунными приливами горизонтальных движений в вертикальные.

Отмечаются продольно-петельчатые пояса тектонопар (Тихоокеанский пояс). Альпийско-Средиземноморская и Гималайско-Таримская тектонопары заключают группы мелких тектонопар. «Структурный рисунок таких динамических систем очень сложный, что связано с довольно беспорядочным расположением мелких тектонопар и разнонаправленными горизонтальными перемещениями в них относительно главной оси» [Суворов, 1978, с. 12].

В литосфере Земли выделяются три крупных блока: 1) Северный с тенденцией однонаправленного движения масс, 2) Тихоокеанский с встречным движением тектонопар с концентрацией масс в границах акватории Тихого океана и 3) Африканский, находящийся в условиях всестороннего растяжения.

Все три блока находятся в резко различных динамо-кинематических условиях, что связывается с «какими-то неоднородностями внутреннего строения Земли, которое, с нашей точки зрения, сейчас представляется менее концентрически-оболочечным и более гетерогенным вплоть до больших глубин» [Суворов, 1978, с. 13]. Отметим, что к близкому предположению нас приводит опыт сравнительного истолкования сейсмометрических и гравиметрических данных.

Далее А. И. Суворов выделяет три крупных линеамента. Самый крупный (длиной 20 000 км) проходит по южной границе северного сегмента, второй линеамент пересекает Тихий океан с северо-запада на юго-восток и контролируется структурами Импе-

раторских гор, Гавайской, Центрально-Тихоокеанской, Туамоту и Восточно-Тихоокеанской. Этот линеамент рассматривается как фронт встречных движений масс; третий линеамент проходит в срединной части Индийского океана субмеридионально вдоль Мальдивского и Центрально-Индийского хребтов; он также рассматривается как фронт встречных движений и скучивания.

Основные выводы А. И. Суворова следующие:

а) тектонопары формируются глубинным латеральным течением масс;

б) размещение и ориентировка тектонопар не подтверждают «представлений о повсеместном расширении океанического дна, о глобальном дрейфе континентальных плит и вообще отвергают преобладание какой-либо одной для всей Земли модели движений» [1978, с. 16];

в) существует глубинная гетерогенность литосферы.

Несомненными достоинствами гипотезы А. И. Суворова является то, что она построена на базе глобального геологического материала и включает хорошо согласующиеся геологические (новейшие движения) и геофизические (мощность коры) данные. Работа А. И. Суворова [1978] ставит перед физиками вопрос о создании региональных увязанных друг с другом геодинамических моделей.

Гипотеза не противоречит высказанным нами выше соображениям, во-первых, о возможном преобладании мозаично-блоковой структуры Земли над сферически-симметрической или о существовании обеих структур, во-вторых — о несплошном распространении астеносферы и об исторической изменчивости свойств и положения астенозон.

### Гипотеза изначально-гидридной Земли В. Н. Ларина

Совместно с Н. В. Бердниковым и С. В. Горкушей была рассмотрена гипотеза В. Н. Ларина. Акт творения Солнечной системы представляется В. Н. Ларину в следующем виде. «Примерно» 4,7 млрд. лет назад, где-то «недалеко» в окрестности пылегазовой туманности взорвалась Сверхновая. Вращаясь, туманность сжималась; в определенный момент по ее экватору началось истечение вещества. Вещество центральных областей вращающейся небулы пошло на создание Протосолнца, а периферийных — на создание протопланет. Важное место в космогонических рассуждениях В. Н. Ларина занимает идея Ф. Хойла о существовании у вращающейся небулы дипольного магнитного поля, которое играло решающую роль в распределении момента количества движения в системе, а также осуществляло магнитную сепарацию вещества протопланетного диска в зависимости от степени его ионизации. После формирования тел Солнца и планет получилась ротационная структура, состоящая из центрального светила и вращающихся вокруг него с примерно одинаковыми угловыми скоро-

стями планет. При этом магнитная сепарация привела к тому, что состав планет по мере удаления от Солнца закономерно изменяется. Легко ионизируемые элементы захватывались магнитным полем и оставались в центральных частях протопланетного диска, а трудно ионизируемые элементы имели большую вероятность остаться в нейтральном состоянии и переместиться на периферию системы. При этом преобладающим элементом в системе оказывается, по мнению автора, водород как наиболее распространенный элемент во Вселенной.

Космогонические построения В. Н. Ларина достаточно логичны, однако зачастую им недостает научной строгости даже на уровне гипотезы. В частности, вычисление первичного состава Земли автор проводит по формуле:

$$K_з = K_с \cdot F,$$

где $K_з$ — концентрация элемента на Земле, $K_с$ — концентрация его на Солнце, F — коэффициент недостачи.

$K_з$ — величина искомая. $K_с$ — в принципе можно определить, изучая спектры современного Солнца при допущении, что составы внешних и внутренних областей нашего светила сходны, а валовый состав Солнца за 4,7 млрд. лет существенно не изменился. Значение F (дефицита) определено магнитной сепарацией, и у подавляющего большинства элементов исходный и наблюденный коэффициенты совпадают или достаточно близки. Вот то немногое, что можно узнать о членах уравнения, которое является одним из ключевых исходных посылок гипотезы. Тем не менее, хотя формула чисто качественная, автор в табл. 4 приводит результаты расчетов по ней исходного состава Земли.

По приближенно количественным расчетам автора получается, что водорода в составе Протоземли было достаточно для нахождения всех элементов в виде водородистых соединений со стехиометрией типа ЭН—$ЭН_2$. Превращения водородистых соединений являются у В. Н. Ларина основной «движущей силой», причиной эволюции Земли. Повышение давления способствует поглощению металлами водорода и образованию гидридов, а рост температуры приводит к разложению гидридов и выделению из них водорода. При этом насыщение металлов водородом и образование ионных гидридов ведут к существенному уплотнению металлов (до 80 % для реакции образования СН), а уплотнение гидридов в условиях сверхвысоких давлений может достигать восьмикратного значения. К сожалению, в нашем распоряжении в настоящее время имеются лишь данные по взаимодействию водорода с некоторыми (в основном щелочными) металлами, да и то далеко не исчерпывающие. Как ведут себя при высоких T и P водородистые соединения других элементов, мы не знаем. Вероятно, отчасти поэтому В. Н. Ларин, описывая процессы внутри Земли и ее строение, оперирует лишь водородом и металлами, оставляя без внимания добрую половину таблицы Менделеева. И хотя вследствие магнитной

сепарации Земля должна была быть обеднена такими элементами, как сера, азот, углерод, инертные газы и др., недоучет роли этих элементов снижает логическую стройность гипотезы.

Теперь рассмотрим, каким образом преобразования водородистых соединений обусловливают эволюцию внутренней структуры изначально гидридной Земли. В результате радиогенного разогрева планеты она должна была расслоиться на ряд геосфер. Во внутренних частях вследствие высокого давления остаются устойчивыми плотные гидриды металлов, окруженные оболочкой из металлов, содержащих растворенный водород. Из внешних геосфер (низкие давления в сочетании с довольно высокой температурой) водород в значительной мере дегазируется. Таким образом, в процессе эволюции Земля обзаводится постоянно уменьшающимся гидридным ядром, металлической мантией и силикатно-окисной корой. Высокую концентрацию кислорода в коре автор объясняет долговременной «продувкой» мантии струями водорода. Эти соображения позволяют ему ставить под сомнение «главную догму в науках о Земле» — представление о преимущественно кислородном (силикатном) сложении Земли. В качестве основного довода В. Н. Ларин приводит то обстоятельство, что состав земных недр известен нам лишь до глубин не более 120—150 км (предполагаемые глубины формирования кимберлитовых магм), а содержание кислорода с глубиной закономерно снижается, указывая тем самым на восстановительный характер среды на глубоких горизонтах планеты. Однако обоснование концепции неполнотой наших знаний в определенной области, мягко выражаясь, не является достаточно сильным и опять же наносит вред логической стройности гипотезы.

Таким образом, в качестве «механизма» эволюции Земли автор предлагает комплекс процессов, связанных с изменением ее внутренней структуры под воздействием «водородных струй» и с уменьшением количества водорода в ее недрах. Какие же конкретные следствия имеют эти процессы?

Главным результатом дегазации является прогрессирующее пульсационное расширение Земли, связанное с разуплотнением недр в связи с разложением гидридов. Геосинклинальный процесс объясняется подъемом водорода с границы мантии и ядра, который несет тепло по узким ослабленным зонам. В этих зонах металлы мантии «наводороживаются» и уплотняются, что ведет к образованию над ними «зоны заглатывания». На поверхности Земли формируется геосинклинальная ванна, идет осадконакопление. Вещество астеносферного слоя при этом стекается под геосинклиналь, обусловливая на поверхности режим сжатия. По окончании дегазации мантия вновь разуплотняется, что ведет к возникновению астеносферного вздутия и переходу геосинклинали в фазу орогенеза. В свете этих представлений В. Н. Ларин дает оригинальную трактовку механизму геосинклинальной складчатости и даже моделирует его с помощью разогретого пластилина. Так как выделяющийся водород несет с собой тепло земных недр, ста-

новится понятным повышение теплового потока при развитии геосинклинали.

Цикличность тектогенеза автор связывает с дискретностью процесса выделения водорода во времени. Начало дегазации обусловливает заложение в областях выхода на поверхность водородных «струй» геосинклинальных систем. Увеличение объема мантии ведет к очередному этапу расширения Земли. Таким образом объясняется разобщенность эпох складчатости и этапов расширения.

Формирование тектоногена («зоны заглатывания») и сопряженной с ним депрессионной воронки позволяет по-новому оценить процессы современной тектоно-магматической активности, в частности, зон Вадати. Характерный «излом» этих зон обусловлен разным характером и интенсивностью сейсмичности устья тектоногена (глубокофокусная интенсивная сейсмичность) и депрессионной воронки (среднеглубинная сейсмичность).

Дрейф литосферных плит в свете гипотезы изначально гидридной Земли связывается с образованием «рельефа» на подошве астеносферного слоя вследствие его неодинакового разуплотнения струями водорода.

Формирование силикатно-окисной коры является следствием долговременной «продувки» мантии водородом. Вынос больших масс кислорода вызывает разогрев внешних оболочек за счет экзотермических реакций окисления. Высокие температуры и давления (ускорение силы тяжести в архее, по В. Н. Ларину, было в три раза больше современного) обусловили возможность возникновения в архейской коре пород гранулитовой фации метаморфизма на относительно небольших (до 10 км) глубинах.

Строение переходного слоя С мантии автор объясняет интерметаллическим составом слагающих его пород. Такая точка зрения является альтернативной распространенному мнению о том, что аномальность слоя С связана с резкими изменениями физических свойств пород вследствие фазовых превращений слагающих их минералов.

Земной магнетизм с позиций гипотезы изначально гидридной Земли объясняется моделями «динамо» (неодинаковая прецессия ядра и мантии) и «электромагнита» (точки протонов или электронов из глубин к поверхности Земли), которые могут действовать одновременно.

Интересны металлогенические следствия гипотезы. В частности, высокие концентрации рудных элементов на дне вокруг Восточно-Тихоокеанского поднятия являются, по мнению автора, результатом силикатизации интерметаллических соединений мантии, подходящих близко к поверхности в зонах срединноокеанических хребтов.

Следует отметить, что автор сам предлагает пути проверки своей гипотезы. К ним относятся: постановка экспериментальных исследований различных водородистых соединений при высоких Т

и Р; исследования магнитного поля (или остаточной намагниченности) планет Солнечной системы и Луны, а также их химического состава; предполагается, что в пользу гипотезы говорило бы обнаружение в срединноокеанических хребтах аномально высоких потоков восстановленных флюидов и залегающих на относительно небольшой глубине интерметаллических соединений; обнаружение интерметаллических соединений на лунной поверхности, куда они могут быть выброшены ударно-взрывными процессами из-под относительно тонкой силикатно-окисной коры.

Таким образом, в положениях гипотезы В. Н. Ларина мы находим все атрибуты геодинамической концепции. Это четко определенная «точка отсчета», основанная на современных космогонических представлениях и гипотезах, а также на данных космохимии. «Движущей силой» геодинамических процессов в рамках гипотезы являются реакции с участием водорода в глубинах Земли. «Механизм» действия этих сил проявляется в движении струй водорода, дегазирующего с границы мантии и ядра, и обусловливает различные тектонические, геохимические, геофизические и металлогенические явления в процессе развития планеты («результат»). В этом, как нам представляется, наиболее сильная сторона концепции: многообразные геологические явления связываются с одной причиной — выделением водорода вследствие дегазации. Такой подход — от общего к частному — еще большая редкость в теоретической геологии. Способы проверки концепций, предлагаемые автором, достаточно реальны. Более того, некоторые из них, например обнаружение потоков восстановленных газов в срединноокеанических долинах, исследования остаточной намагниченности лунных пород, осуществляются уже в настоящее время. Учитывая успехи науки и техники в области космонавтики, глубоководного бурения, эксперимента при высоких температурах и давлениях, можно надеяться, что основные положения гипотезы могут быть проверены уже в ближайшем будущем.

*Условие внутренней логической непротиворечивости* в построении концепции, на наш взгляд, соблюдено. Однако автор использовал факты, не противоречащие основным положениям концепции, зачастую оставляя в тени данные, не согласующиеся с ней. В этом слабая сторона рассматриваемой гипотезы. Вместе с тем *гипотеза представляется интересной для рассмотрения и развития* ее наряду со многими конкурирующими (или, точнее, дополняющими друг друга) геодинамическими гипотезами.

Основными недостатками гипотезы представляются: 1) недостаточность использования точных математических расчетов, которые являются *доброкачественными, логичными и надежными* (хотя и отдельными) звеньями в цепи научных построений (как, например, в гипотезах В. П. Мясникова и В. Н. Фадеева, Е. В. Артюшкова), и явное преобладание словесных моделей над математическими; 2) рассмотрение процессов дегидрогенизации с их экспансионным эффектом (расширяющаяся Земля) никак не увязывается с гравитационными силами и гравитационным полем Земли

с их контракционным эффектом (сжатие или по крайней мере постоянство объема Земли). Напомним, что в пользу доминирования и даже определяющей роли гравитационных сил говорит то, что Земле свойственна фигура гидростатического равновесия.

---

Нами выделена глубинная тектоника как отрасль геологии, связанная Большим геологическим континуумом и гипотезами. При этом обособляется структурная часть, т. е. модели сферически-концентрического строения Земли и намечающееся представление о ее мозаично-блоковом строении. С последним представлением, может быть, в какой-то степени связана идея о происхождении тектонических сил и неравномерном их проявлении на поверхности Земли. Сферически-симметрические модели как бы более «спокойные», более равновесные, с которыми трудно ассоциировать поверхностную тектоническую динамику. Учитывая принцип специализации, можно думать, что обе модели могут вполне уживаться в пространстве Земли, дополняя друг друга. Геодинамическое направление глубинной тектоники занимается внутриземными процессами. Критерием истинности этих гипотез может быть только непротиворечивость их с наблюдениями и измерениями вблизи поверхности Земли геологических структур (включая слагающее их вещество со всеми тонкостями его строения, состава и изменений в пространстве и времени) и геофизических полей. Математическая строгость во всех этих построениях совершенно необходима, но только как дисциплина мысли, а не источник открытий. Существуют два подхода к построению геодинамических моделей — физический и геологический. При первом преобладает дедуктивная форма мышления, при втором — индуктивная. В первом случае основой построения являются физические законы, часто с привлечением наблюдений над физическими полями Земли и данных астрономии, во втором — наблюдаемые геологические факты (с привлечением интерпретированных на геологическом языке геофизических данных) и историко-геологические реконструкции, базирующиеся на методе актуализма.

Решения геодинамических задач геологическими методами *также далеко не однозначны, если цель их заключается*, во всяком случае отчасти, в «угадывании» тех движений и превращений вещества, которые совершаются на недоступных глубинах и обусловливают наблюдаемый на поверхности сложный геологический рисунок с его исторической ретроспективой. Можно предположить, *что одной из главных задач создания наиболее приемлемых* геодинамических концепций является «стыковка» глубинных «физических» и поверхностных «геологических» моделей. Удовлетворительное разрешение этой задачи является главной предпосылкой создания общих геотектонических гипотез, соответствующих как *данным наблюдений и экспериментов, так и физическим законам.* В изучении глубоких недр Земли обязательно должна быть вовле-

чена вся совокупность геологических (геофизических, геохимических) фактов и все достижения современной физики. Результаты этого изучения будут все же представлены гипотезами, среди которых наиболее «истинными» и полезными будут те, которые укажут глубинные признаки нахождения на сравнительно небольших, доступных сейчас или в ближайшем будущем глубинах залежей полезных ископаемых и геотермических энергетических ресурсов, пригодных для использования, а также глубинные признаки, позволяющие предсказать землетрясения и вулканические извержения.

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эффективность исследований и прогресс наших знаний в области тектоники могут быть обеспечены лишь на надлежащей методической основе. Строение и развитие Земли связаны с механическими, физическими, химическими, биологическими и иными преобразованиями, обусловливают сложность подхода к ее изучению и разнообразие применяемых методик. В частности, в тектонических исследованиях намечаются три направления, содержащих различные методологические подходы.

Первым направлением является выделение геологических тел, выяснение положения их в пространстве или, иными словами, исследование геологической структуры; использование принципа специализации и разработки методики выделения, описания, сравнения и классификации геологических тел и структур.

Выяснение последовательности образования геологических тел, последовательности событий геологической истории и генезиса геологических объектов является содержанием второго — историко-генетического направления, заключающегося в ретроспективных построениях с использованием принципов последовательности напластования и актуализма.

Изучение современных движений земной поверхности и обусловливающих их процессов составляет третье — динамическое направление, использующее принципы физики и механики и включающее экспериментальный метод (экспериментальная тектоника).

Структурные, историко-генетические и динамические направления взаимно связаны и взаимно необходимы. Основная идея такой связи выражена в понятии зет-системы. Все три направления, хотя они и тесно связаны друг с другом, будучи объединены общими объектами, а часто и общими задачами исследования, в методическом отношении совершенно самостоятельны. Смешение этих трех направлений неизбежно ведет к серьезным ошибкам во многих видах геологических научных построений.

Слоистая структура тесно связана с гравитационным полем Земли, с ее размерами и фигурой. Изучение слоистой структуры представляет путь к познанию истории Земли — как последовательности ее напластования, так и развития ее как планеты, а также развития Вселенной, поскольку оно так или иначе запечатлено в разрезе отложений гипергенной оболочки Земли и поскольку иной возможности для изучения развития Вселенной, по крайней мере для последних четырех миллиардов лет, пока не существует. Дислокации слоистой структуры, по-видимому, надо рассматривать в основном как результат ее приспособления к изменениям фигуры в связи с изменениями скоростей вращения и разнообразными возможными внешними влияниями. Вместе с тем

представления о глубинных процессах и о роли в них собственно внутриземных и внешних факторов остаются гипотетичными.

Тектоника является одной из отраслей геологических знаний, вносящей важный и необходимый вклад в разработку научных основ поисков полезных ископаемых. Ее вклад особенно значителен потому, что он создает общий каркас, позволяющий определять положение в пространстве всех горнопородных, геохимических, физических и других признаков, служащих для прогноза и выяснения закономерностей размещения полезных ископаемых. Важен формационный подход. Выделение формаций связано со многими трудностями и неопределенностями. Тем не менее оказывается возможным выделять геологические (осадочные, магматические, метаморфические, т. е. столь глубоко метаморфизованные, что в них утрачены следы начальной структуры) формации, группировать их в комплексы разных порядков (структурно-формационные зоны, геосинклинальные системы, геосинклинальные области, платформы и т. д.) и составлять в результате этих процедур тектонические карты. Тектоническая карта является основой для выяснения закономерностей размещения полезных ископаемых. Нам надо эти закономерности в связи с народнохозяйственными потребностями распространять на бóльшие и бóльшие глубины. Поэтому основная тенденция в совершенствовании тектонических карт должна заключаться в повышении их «глубинности». Здесь геофизика представляет важнейшее средство исследований.

Обобщая геологические формации и составляющие гипергенную оболочку структурные элементы разных рангов, мы идем путем синтеза. Выделение формаций для этого синтеза имеет целью воссоздать общую тектоническую картину гипергенной оболочки, выяснить ее основные структурные черты. Затем переходим к формационному а н а л и з у, т. е. к выделению в гипергенной оболочке геологических формаций. С первого взгляда кажется, что при этом мы совершаем тот же путь, только в обратном порядке, который не может внести ничего нового в выделении формаций. Однако это не так. Дело в том, что выделение формаций имеет целевой аспект, связанный с полезностью формаций. Если по пути «туда» основной задачей является создание модели (полноопределенного пространства) гипергенной оболочки в целом или отдельных ее частей (например, континентов, геосинклинальных областей и т. д.), то при движении «обратно» перед нами возникает практическая цель — поиски полезных ископаемых. В осуществление этой второй цели мы выделяем формацию не совсем так, как при создании общей модели. При формационном анализе, например, мы можем выделить конкретную, интересующую нас формацию, не обязательно заботясь о том, чтобы все пространство вокруг этой формации было бы представлено как полноопределенное. Короче говоря, мы здесь уже занимаемся не районированием, а поисками. Например, при выделении соленосной, угленосной, нефтеносной или рудоносной формации определяются их границы, затем эти формации описываются, скажем, по дискретным точкам или

функционально, что уже позволяет нам ориентироваться внутри формации в дальнейших поисках.

Иногда поиски ориентируются не на формации, а на тела более высокого ранга — комплексы формаций или структурные элементы гипергенной оболочки. Так, Г. В. Ручкин, рассматривая закономерности размещения стратиформных полиметаллических месторождений докембрия, определяет особую металлогеническую специализацию для таких тел, как зеленокаменные пояса, эпикратонные геосинклинали, авлакогены, терригенные эвгеосинклинали, краевые миогеосинклинальные прогибы, протоплатформенные и платформенные чехлы. Для докембрия, где выделение формаций значительно труднее, чем в фанерозое, такой подход вполне оправдан. Однако и здесь применяется структурно-формационный анализ, позволяющий перейти к более низшему рангу тел и конкретизации поисков. Существенна локализация месторождений различных типов в зонах, обладающих особым геологическим строением и историей развития.

Кроме формаций, являющихся главным ориентиром при поисках, возникает не менее важное понятие структурного контроля, который может быть связан со складчатыми тектоническими формами, зонами выклинивания, разломами (или системами трещин) и т. д., пластовой приуроченностью, литологическими (петрографическими) изменениями. Для нефтяных месторождений преимущественная форма структурного контроля— антиклинали, присбросовые экранированные «козырьки», зоны выклинивания коллекторов. На распределение угольных месторождений в некоторых формациях влияют конседиментационные структурные формы. Структурный контроль в рудоносных магматических формациях осуществляется преимущественно разрывами и трещинными зонами, хотя возможны и многие другие формы этого контроля. Однако не надо думать, что выделение формаций, их описание и выяснение типов структурного контроля исчерпывают задачу выяснения закономерностей размещения полезных ископаемых. Кроме формационных, (располагающихся в границах формации) достаточно распространены «трансформационные» залежи полезных ископаемых, вещество которых проникло из формаций смежных, удаленных или даже скрытых на недоступных глубинах. В таком случае на первое место выступают не контуры и строение формации, а элементы структурного контроля.

В 1986 г. Л. И. Брянский и В. А. Бормотов выделили по данным МОВЗ и гравиметрии многоуровенные «глубинные структуры разуплотнения», контролирующие оруденения в районе юга Дальнего Востока. Эти контролирующие структуры местами прослеживаются до подошвы земной коры.

Иногда говорят о «рудных формациях», которые не обязательно расположены в границах какой-либо конкретной геологической формации, а объединяют сходные или родственные (в вещественном и генетическом отношении) рудные тела и рудопроявления. Очень дискуссионным является вопрос о формационном или

трансформационном характере нефтяных и газовых залежей. Флюиды весьма подвижны, и поэтому надо думать, что существуют, а иногда даже и сосуществуют залежи обоих типов. С решением этих вопросов связаны многие противоречия, заключающиеся в признании или непризнании (К. П. Калицкий) миграции нефти в осадочных формациях, возможность органического и глубинного происхождения нефти. Думается, что вопрос этот далек от однозначного решения. Размещение нефти при наличии коллекторов и благоприятных структурных факторов можно считать вообще инвариантным по отношению к обеим гипотезам о происхождении нефти.

---

Тектоника обладает быстро развивающимся арсеналом исследовательских средств, позволяющих решать многие насущные задачи. Из области структурной геологии многое существенное остается неразгаданным. Особого внимания заслуживают тектоника *метаморфических толщ и магматическая тектоника*, где приходится разбираться в сложных сочетаниях наложенных многократных дислокаций, сопровождающихся течением вещества и его преобразованиями. Основой тектонических построений все больше и больше становится исследование вещественного состава. В области *региональной и глобальной тектоники привлекают особое вни*мание офиолитовые формации континентов и океанов, рифтовые системы, системы периокеанических прогибов, линейные магнитные аномалии. В практическом отношении особую важность приобретает совершенствование сейсморазведочных и гравиразведочных работ, тесно связанных с прямыми поисками нефти, и создание соответствующей аппаратуры для исследования тектоники нефтеносных бассейнов.

Фундаментальной задачей тектоники было и остается расширение познанного пространства. Еще недавно непознанным пространством были океаны. Сейчас это в *основном большие глубины* Земли. Однако получение однозначной информации о петрографических, минералогических, химических свойствах глубинного вещества возможно пока только посредством бурения. Надо совершенствовать существующую технику бурения и разрабатывать принципиально новые методы непосредственного проникновения в глубокие недра Земли. Разрешение загадок земных недр — это длительный, сложный и трудный процесс.

*Арган Э.* Тектоника Азии. М. —Л., ОНТИ, 1935, 192 с.

*Артюшков Е. В.* Геодинамика. М., Наука, 1979, 327 с.

*Архангельский А. Д.* О некоторых спорных вопросах тектонической терминологии и тектоники СССР. — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1939, № 1, с. 25—40.

*Архангельский А. Д.* Геологическое строение и геологическая история СССР. М. — Л., Гостоптехиздат, 1941, 376 с.

*Борисяк А. А.* Теория геосинклиналей. — Изв. Геолкома, № 1, 1924, с. 3—15.

*Борукаев Ч. Б.* Структура докембрия и тектоника плит. Новосибирск, Наука, 1985, 190 с.

*Буллен К. Е.* Плотность Земли. М., Мир, 1978, 442 с.

*Вакье Виктор.* Геомагнетизм в морской геологии. Л., Недра, 1976, 192 с.

*Вегенер А.* Происхождение материков и океанов. М., Госиздат, 1923, 158 с.

*Войновский-Кригер К. Г.* Некоторые соображения об изоклинальной складчатости.— Бюл. МОИП, отд. геол., 1948, № 6, с. 69—77.

*Геология* дна Филиппинского моря. М., Наука, 1980, 261 с.

*Гёте И. В.* Избранные философские произведения. М., Наука, 1964, 520 с.

*Гутенберг Б.* Физика земных недр. М., Изд-во иностр. лит., 1963, 263 с.

*Живая* тектоника. М., Изд-во иностр. лит., 1957, 339 с.

*Ильин А. В.* Морфоструктура дна океана и некоторые вопросы новой глобальной тектоники.— Геотектоника, 1978, № 6, с. 17—35.

*Краткий* очерк геологической структуры и геологической истории СССР/ А. Д. Архангельский, Н. С. Шатский и др. М.— Л. , Изд-во АН СССР, 1937, 299 с.

*Кузнецов Ю. А.* Главные типы магматических формаций. М., Недра, 1964, 387 с.

*Кузнецов Ю. А.* О главных формах гранитоидного магматизма и механизме образования гранитоидных тел. — Геология и геофизика, 1966, № 6, с. 6—8.

*Кухтиков М. М.* О шарьяжах Памира (к проблеме приоритета горизонтальных или вертикальных тектонических движений.— Бюл. МОИП, сер. геол., 1981, т. 56, вып. 1, с. 3—14.

*Милановский Е. Е.* Некоторые закономерности тектонического развития и вулканизма Земли в фанерозое (проблемы пульсации и расширения Земли).— Геотектоника, 1978, № 6, с. 3—16.

*Мясников В. П., Фадеев В. Е.* Модели эволюции Земли и планет земной группы. М., Изд-во ВИНИТИ, 1980, 231 с.

*Нарликар Дж.* Неистовая Вселенная. М., Мир, 1985, 255 с.

*Новая* глобальная тектоника. М., Мир, 1974, 471 с.

*Ог Э.* Геология. Т. 1 (геологические явления). М., 1914, 595 с.

*Океанология.* Геология океана (геологическая история океана). М., Наука, 1980, 462 с.

*Офиолиты:* современное состояние и задачи исследований/А. В. Пейве, Н. А. Богданов, А. Л. Книппер и др. — Геотектоника, 1977, № 6, с. 4—14.

*Палеозоиды* Евразии и некоторые вопросы эволюции геосинклинального процесса/А. В. Пейве, Н. А. Штрейс, А. А. Мосаковский. — Сов. геология, 1972, № 12, с. 7—25.

*Пейве А. В.* Океаническая кора геологического прошлого. — Геотектоника, 1969, № 4, с. 5—23.

*Проблемы тектоники земной коры.* М., Наука, 1981, 275 с.

*Ранняя* история Земли. М., Мир, 1980, 620 с.

*Соловьёва И. А.* Морфологические особенности и глубинное строение срединноокеанических хребтов в связи с историей их развития. — Геотектоника, 1980, № 2, с. 27—48.

*Становление* континентальной земной коры Северной Евразии (в связи с составлением новой тектонической карты)/А. В. Пейве, А. Л. Яншин, Л. П. Зоненшайн и др. — Геотектоника, 1976, № 5, с. 6—23.

*Суворов А. И.* Новейшая глобальная кинематика литосферы (на основе региональных тектонопар). — Геотектоника, 1978, № 2, с. 3—18.

*Тектоника* Востока Азии и дальневосточных морей/М. С. Марков, Ю. М. Пущаровский, С. М. Тильман и др. — Геотектоника, 1979, № 1, с. 3—21.

*Тектоническая* расслоенность литосферы, М., Наука, 1980, 216 с.

*Шатский Н. С.* Избранные труды. Т. I—IV, М., Наука, 1963—1965 (т. I, 622 с.; т. II, 720 с.; т. III, 248 с.; т. IV, 398 с.).

*Штауб Р.* Механизм движений земной коры. Л.— М., Госгеолиздат, 1938, 371.

*Штилле Г.* Избранные труды. М., Мир, 1964, 888 с.

*Штрейс Н. А.* Стратиграфия и тектоника зеленокаменной полосы Среднего Урала. — В кн.: Тектоника СССР. Т. 3. М., Изд-во АН СССР, 1951, 308 с.

Авлакоген 83, 84, 162, 183, 184, 188, 243, 432
— поперечный 184
— сквозной 184
Автогеосинклиналь 166, 182
Аделаидий 246
Аккреция 213, 240, 262, 263, 373
Аллохтон 349
Алданий 247, 248
Анализ мощностей 67, 68, 300—303, 382
— мощностей и фаций 297, 298, 308
— структурно-фациальный 298
— фациальный 303
— формационный 196, 431
Анатектиты нормальные 119, 120
— чарнокитовые 119
Антеклиза 95, 103, 145, 182, 183, 302, 313, 382
Антиклинал-плутон 120
Антиклиналь 34, 71, 86, 94, 95, 105—108, 113, 119, 279, 306, 375, 432
— термальная 98
— шовная 86
Антиклинорий 26, 83, 95, 101, 244, 311
Антинаппизм 78
Ассоциация офиолитовая 249
Астенозона 358, 365, 376, 405, 412
Астеносфера 132, 257, 287—289, 333, 351, 353, 365, 367—373, 376, 390, 392, 393, 395, 407, 408, 412, 413, 420
— «вязкостная» 372
— «скоростная» 372

Базификация 210
Бассейн 91, 107, 255, 256, 296
— геосинклинальный 222
— осадочный 377
Батерион 392
Батолит 71, 112, 117, 120—122, 148
— аллохтонный 119
— гранитоидный автохтонный 119, 120
Белтий 246
Биомалит 127
Блок литосферный 392, 393, 412
— рифтовый 166
Брекчия вулканическая 113
— грязе-вулканическая 303
— кристаллизационная 111, 113
— осадочная 131, 379
— тектоническая 74, 111
— трения 81, 85
— эруптивная 127
Будинаж 120

В-тектоника 91, 92
Вал 99, 389
— двумерный 364
Ванна геосинклинальная 426
Вдавленность синклинальная 113, 303
Венд 246
Вертикализм 7, 68, 307
Взброс 74, 78, 281
Взбросо-сдвиг 281
Взрез глубинный 86
Вздутие астеносферное 426
Виргация 99, 100, 101, 251
— второго рода 99
— двойная 100
— первого рода 99
— простая 100
— свободная 100
— вынужденная 100
— третьего рода 99
Включение 25, 30, 115, 140, 141, 159, 193
Возраст основной складчатости 35
Возраст основной геосинклинальной складчатости 33
Возраст складчатости 33, 35, 161, 163, 230
Волна географическая 312
— неотектоническая 201
— тектоническая 204
Волновод 333, 344, 354—357, 370, 371, 390
Волочение 108, 394

Впадина 66, 79, 94, 106, 115, 126, 163, 179, 183, 191—193, 198, 199, 201, 206, 222, 225, 234, 236, 243, 296, 341, 367
— внутриконтинентальная 190—194, 209, 237
— глубоководная 206, 209, 231
— грабенообразная 188
— кольцевая 114
— континентальная 191, 193
— океаническая 314, 386
— окраинного моря 195, 196
— межгорная 70, 99, 295
— трапповая 188
— эвгимническая 190
Время геологическое 3, 38—43, 52, 63, 64, 135, 138, 222
— — собственное 52, 62
— — фиксированное 41
— логическое 39, 40, 63
Всплывание гравитационное 112
Вулкан грязевой 113, 170, 283
Вулканизм внегеосинклинальный 410
— газовый 131
— грязевой 75, 126, 131
— конечный 171
— субсеквентный 171
— финальный 171

Гарполит 127
Геоантиклиналь 30, 34, 163—165, 168, 172, 236, 238, 302, 311, 313
— второго типа 262
— двойная 223
— линейная 165
— первого типа 262
Геосинеклиза 183, 189, 234, 236, 367
Геосинклиналь 30, 31, 33, 36, 48, 142, 148, 153, 156, 157, 163—166, 168, 169, 172—175, 182, 183, 185, 206, 207, 220—223, 225, 227—229, 236, 238, 259, 302, 305, 306, 311, 313, 314, 378, 387, 421, **426, 432**
— аргиллитогенная 166
— второго типа 173
— внутриконтинентальная 91, 166
— внутриплатформенная 166
— вулканогенная 166
— зеленокаменная 166, 172, 173
— известняковая 165, 166, 173
— карбонатная 165
— карбонатогенная 166
— континентальная 166
— континентально-блоковая 166
— краевая дугообразная 166
— краевая линейная 166
— линейная 165
— междуплатформенная 166
— межконтинентальная 166
— океаническая 166, 207
— окраинно-континентальная 166
— первого типа 173
— приплатформенная 166
— современная 213, 224, 229
— флишевая 166, 172, 173
— флишегенная 166
— эпикратонная 242
Геосфера 5, 48, 114, 274, 324, 426
Гидровулканизм 130, 131
Гидротектоника 131
Гипотеза Вегенера 322, 384, 385
— контракционная 6, 108, 306, 322, 380, 391, 412, 414
— тектоническая 3, 7, 92, 137
Гирлянда 100, 386
Глетчер глиняный 74
Гляциоизостазия 310
Гомотаксис 62
Гомоклиналь 251
Горообразование 385, 387
Горст 33, 81, 84, 281
Горст-антиклиналь 97
Горы глыбовые 312, 315
Грабен 33, 81—84, 89, 91, 136, 137, 175, 187, 188, 191, 192, 252, 281, 314, 422
— глыбовый 82
— краевой поперечный 90
— рамповый 82
— рифтовый 82—84, 87, 149, 201
— — глобальный 84
— — глубинный 84
Градация 30, 31, 144
Граница биостратиграфическая 18
— вещественная 27
— геологическая 3, 10—12, 14—17, 19, 27, 28, 37, 53, 59, 110, 231, 343, 344
— деструктивная 400, 405, 407, 408
— дизъюнктивная 15, 17—19, 27, **76**, 85, 152, 398, 399

— жёлобового типа 400
— «ископаемая» 397
— квазидизъюнктивная второго класса 18, 19
— — первого класса 18, 19
— конструктивная 400
— коро-мантийная 287
— наращивающая 400, 419
— нарушенная 19
— первого типа 400
— плит литосферных ископаемая 214
— — — пунктирная 214, 399
— — — рассеянная 214, 399
— — — сгущенная 214, 399
— поглощающая 400, 405, 419
— простая 16, 17
— произвольная 15, 18, 19, 25, 27, 344, 398
— «пунктирная» 399
— рассеянная 399
— резкостная 15—19, 21, 27, 36, 344
— — второго рода 16, 27, 181, 332—334
— — первого рода 16, 27, 181, 332—334
— «сгущённая» 319
— скользящая 400
— скоростная глубинная 60
— сложная 16, 17
— составная 16, 17
— стратиграфическая 60
— структурная 27
— — второго рода 27
— — первого рода 27
— третьего типа 400
— условная второго класса 15, 18, 19, 27, 243
— — первого класса 15, 17—19, 24, 27, 333, 344
— — третьего класса 15, 18, 19, 27
— формации 151
— хроностратиграфическая 18
Группа формаций 145
Густота трещин 96

**Д**-тектоника 91, 92
$Д_1$-тектоника 91
$Д_2$-тектоника 91
$Д_2'$-тектоника 91

Давление тангенциальное 306
Дайка 12, 25, 71, 123, 125, 127—130, 207, 351
— брекчий 112
— кластическая 129, 131, 283
— — инъекционного типа 129
— — нептунического типа 129
— коленчатая 123, 125
— кольцевая 134
— магматическая 112, 130
— многократная 123
— нептуническая 75, 85, 103, 110, 112, 129, 130, 133
— плутоническая 85, 130
— секущая 125
— сложная 123
Движения быстрые 310, 311
— вертикальные 6, 7, 41, 68, 278, 288, 289, 295, 308, 310, 354, 365, 368, 377, 382, 383, 400, 405
— — колебательные 168
— волновые 376, 310
— волнообразные 311
— восходящие 310—312
— вторичные 309
— вулканогенные 35, 283
— глубинные 307, 308, 319
— — отраженные 302, 304, 306, 307, 328
— геологического прошлого 280, 292, 294, 297, 310, 314
— глыбовые 193
— горизонтальные 7, 41, 68, 78, 114, 116, 212, 232, 261, 277, 289, 307—310, 348, 354, 365, 382
— — вращательные 108
— горообразовательные 311, 320
— дислокационные 306
— древние 294
— изостатические 381
— конвективные 288, 363, 390
— «квазиупругие» 276, 311
— колебательные 6, 276, 302, 304, 309—314, 320, 381
— локальные 279
— магматические 313
— медленные 310, 311
— непрерывные 310, 311
— нисходящие 310, 393

— неотектонические 58, 289—292
— новейшие 191, 289—291, 294, 369
— орогенические 306, 316
— оседания 311
— остаточные 284
— планетарные 276
— подкоровые 276
— поднятия 311
— постгляциальные 369
— прерывистые *310*, *311*
— приливно-отливные 308
— орогенические 173, 313, 314, 381
— разрывные *309*
— ритмичные 310
— сейсмогенные 35, 280, 281, 283, 303
— *складкообразующие* 105, 314
— складчатые 309, 320
— современные 28, 35, 37, 54, 73, 191, 274—278, 280, 282, 285, 289, 290, 294, 295, 310, 328, 369, 415
— — вековые 302
— *спрединговые* 214
— структурообразующие 323, 325
— субсидентные 311
— тангенциальные 287, 311
— тектонические 6, 35, 36, 44, 66, 273—278, 392
— — вертикальные 6, 175
— — восходящие 291
— глубинные 274
— нисходящие 291
— техногенные 35, 303
— ундационные 311
— «упругие» 276, 284
— эмерсионные 311
— эпейрогенические 168, 276, 294, 302, 306, 312—314, 316, 381
Денудация тектоническая 81
Депрессия 252
— вулкано-тектоническая 111, 126, 283, 303
— межгорная 160
— предгорная 185
Деформация *7*, *72*, *76*, *77*, *94*, *105*, 107, 109, 190, 248, 290, 303, 306, 307, 339, 417
Диаклаз *125*
Диапир 133
— глиняный 112
— мантийный *203*
Диапир-плутон 119, 148
Диапиризм мантийный 402
*Диастема* 293
Диасхизис 251
Дизъюнктив 84, 94, 116, 309
*Динамопара* 84, 214
Динамо-ядро 263
Дисгармония 107
*Дислокация* 28, 40, 49, 70, 72—74, 80, 90, 98, 112, 131, 157, 159, 167, 178, 184, 247, 287, 303, 306, 307, 316, 323, 354, 355, 379, 408
— дизъюнктивные 73, 75, 78, 81, 84, 110, 111, 123, 133, 183, 196
— инъективные 3, 73, 76, 110, 111, 113, 120, 127, 128, 131, 133, 134, 140, 245
— — флюидного происхождения 116
— магматические 117, 118, 131
— оползневые 81
— палеосейсмические 44
— планетарные 287
— пликативные 73, 94, 96, 109, 110, 123, 133
— подводно-оползневые 80, 81
— сдвиговые 292
— слоистой структуры 72—74
Долина рифтовая 82, 83, 200, *201*
Дрейф материков 262
— плит континентальных 426
— литосферных плит *421*
Дуга островная 155, 175, 176, 196, 204, 206, 207, 209, 221—223, 229, 231, *240*, *241*, *256*, *288*, *350*, 389, *407*, *409*

Емкость волновода 357

Желоб глубоководный 175, 195, 196, 204—207, 216, 221, 223, 349, 400, 406, 422
Жерло вулканическое 71
Жерловина вулканическая 127
*Жилы* 25, 85, 112, 116, 121, 133, 139, 140
— бестрещинные 117
— камерные 117
— комплексные 117
— координированные 117

— лестничные 117
— неправильные 116
— пластовые 125
— простые 116
— рубцовые 117
— рудные 116
— седловидные 117
— секущие 125
— сетчатые 116
— сопряженные 117
— четковидные 117

Зальцбанд 116
Закон Ога 305
— Паскаля *122*
— последовательности напластования 71, 81, 111, 146
— Смита *61*
— Смита—Вернера 64
— Стено 61, 63, 64
— *ускоренного роста соляных куполов* 115
Залежи интрузивные 123
*Залегание аллохтонное* 349
— непрерывное 70
— несмещенное 76
— несогласное 68—70
— нормальное 93, 404
— опрокинутое 93, 404
— смещенное 76
— согласное 68, 70
Залежь трансформационная 432
— формационная 432
Замыкание геосинклиналей 153
Зевгеоклиналь 176
Зевгеосинклиналь 166, 183
Земля расширяющаяся 199
Зеркало скольжения 128
— складок 100
— соляное 115
Зет-система 42—46, 174
Зона апикальная 112
— астенолитная 375
— астеносферная 374, 375
— Беньофа 407
— брекчий *348*
— Вадати 407, 409, 427
— выклинивания 432
— геосинклинальная *205, 206*
— глыбовая 158
— диасхизиса 255
— дробления 85
— Заварицкого—Беньофа 407
— заглатывания 426, 427
— миогеосинклинальная 165
— переходная («перехода») 208, 333
— платформенная нескладчатая 245
— *подвижная 120*
— продольная миогеосинклинальная 165
— — *эвгеосинклинальная* 165
— разломов 288
— разрывов 85
— *растяжения* 408
— рифтовая 175, 355, 414
— сейсмофокальная 87, 356, 390, 395, 396, 399, 407—410
— складок внутриплатформенная 241
— складчатая 34, 76, 102, 185, 205, 206, 244, 320, 389
— смятия 85, 86, 89
— спрединговая 212, 213
— структурно-фациальная 80, 144, 229
— структурно-формационная 142, 160, 164, 234, 248
— Тараканова 212, 408
— трещиноватости 85
— трещинная минерализованная 117
— фациальная 65
— эвгеосинклинальная 165
Зональность метаморфическая парная 176

Идиогеосинклиналь 176
Иерархия геологических тел *21*
Изгибы-валы 281
Изгиб флексурный 183
*Изопахиты 18, 67*
Изостазия 322, 333, 367, 385
Импульс конседиментационной складчатости *106*
Инвент 401
Индекс генетический 65
*Интермеццо сиалическое* 171
Интерпретация 13
Интрузив куполовидный 119
Интрузия расслоенная 376

— соляная 118
— пластовая 111
Инъекция жильная 125
— магматическая 110
— пластовая 125
— соляная 75, 110
— трещинная 111, 119

Камера трапповая 111
Канон орогенических фаз 6, 219, 315
Карпентарий 246
Картирование тектоническое 3, 27, 28, 30, 150, 151, 154, 155, 231
Картография тектоническая 27—29, 34, 229
Карта изопахит 66, 299
— палеотектоническая 36, 37
— палинспастическая 37, 116
— равных мощностей 66
— тектоническая 14, 28—33, 35, 36, 152, 159, 161, 179, 204, 213, 229, 431
Катангий 246
Квазиактуализм 240
Кибарий 246
Киватиний 246, 247
Кинегеоклиналь 176
Кливаж 98
Кливажантиклиналь 98
Клиппы 81
Колебания собственные Земли 52, 54, 339
— чандлеровские 284
— эвстатические 293, 305, 310, 414
Кольцо мобильное 136
Компенсирование глубинное 126
— прогибания 126
Комплекс 8, 58
— геосинклинальный 175, 194, 243, 244
— — нескладчатый 244
— — складчатый 244
— главный геосинклинальный 160
— дайковый 354
— инфраструктурный 254, 346
— древний гнейсовый 254
— заполнения 6
— зеленокаменный 247
— кольцевой интрузивный 119
— магматический 140, 147, 157
— метаморфический 343
— молассовый 160
— нескладчатый 243
— параокеанический 227, 228
— океанический 227, 230
— орогенный 154, 159, 193
— ортоокеанический 227
— осадочный 157
— основания 154, 155, 160, 161, 254
— офиолитовый 230, 346—351
— платформенный 243
— — нескладчатый 244, 245
— — складчатый 244
— плитный 394
— покровный 35, 154
— складчатый 29, 33, 35, 151, 154, 155, 159, 243
— структурно-вещественный 146, 148, 209, 230, 242—246, 248, 252
— структурно-формационный 155
— троговый 162
— формаций 35, 152, 243, 432
Конвекция трехмерная стационарная 364
Консолидация 160
Контакты эпитаксиальные 47
Континентолизация 224—226
Континуум 51, 52, 62
— геологический 3, 52
— — Большой 52—55, 63, 392, 408, 413, 429
— — Малый 52—55, 137, 408
— пространственно-временной 51
Контракционизм 6
Контракция 108
Контроль структурный 432
Кора земная 3, 4, 6, 29, 31, 57, 58, 76, 77, 84—87, 89, 97, 108, 122, 126, 130—132, 157, 181, 193, 197, 203, 208, 211, 212, 219, 223—226, 234—236, 250, 257, 259, 274, 275, 278, 288, 293, 303, 304, 307, 313, 315, 320—322, 332—334, 340—342, 344—348, 352, 353, 356, 358, 359, 362, 367, 370, 378, 387, 388, 396, 407, 412, 432
— континентальная 29, 154, 175, 176, 209, 223, 224, 226, 229—231, 241, 256, 361, 393
— — зрелая 227

— кратона 413
— неустойчивая 264
— океаническая 153, 176, 205, 207, 213, 216, 218, 225, 227—229, 231, 233, 256, 347, 349, 350, 361, 385, 393, 412, 420
— сиалическая 176, 252
— силикатно-окисная 426—428
Кордильера 81, 176
Корки упругие 345
Котловина 199, 203, 209, 234, 350, 367, 402, 410
— глубоководная 198
Кратон 156, 166, 255
Крыло инъективного тела 112
— складки 34
— — растянутое (флексурное) 18, 109
— флексуры опущенное 18
— — поднятое 18
Ксенолит 121
Купол 66, 113, 114, 129, 279
— гнейсовый 98
— гранитный 136
— гранито-гнейсовый 251
— диапирового строения 112
— соляной 21, 25, 52, 75, 82, 105, 111, 112, 114, 115, 118, 300
— шлировый 98
Кэпрок 115

Лакколит 71, 112, 122, 123, 127
— межформационный 127
— — псевдодискордантный 121
— эруптивный 127
Лептогеосинклиналь 165, 176
Линеамент 83, 85, 91, 423
Линза 10, 61, 67, 68
Литоплинт 255
Литосфера 86, 175—177, 228, 257, 289, 347, 348, 353, 355, 361, 365, 367, 368, 370, 371, 377, 393, 395, 397, 408, 410—412, 420, 423
— континентальная 397
— океаническая 241, 397, 406
Лополит 71, 126, 127

Магматизм гранитоидный 171, 172
— инициальный 169, 171
— начальный 165, 169, 171
— — продленный 172
— орогенный 165
— сиалический, субсеквентный, но не конечный 171
— синорогенный 171
— субсеквентный 165, 171
Мантия 3, 58, 76, 85, 86, 132, 138, 178, 197, 200, 203, 209, 215, 222, 223, 229, 232, 240, 252, 257—260, 275, 288, 289, 302, 322, 324—326, 329, 333, 334, 340, 341, 343—347, 349, 352, 353, 357, 359, 361, 363—370, 372—377, 381, 382, 390—394, 397, 399, 405, 407—410, 426—428
— аморфная 240
— аномальная 288, 361, 375—377
— верхняя 236, 333, 334, 339, 342—344, 353, 354, 356, 358, 359, 361, 368, 395, 408
— жидкая 240
— металлическая 426
— нижняя 333, 335, 343, 374, 395
— перегретая 240
— разуплотненная 325, 426
— симатическая 390
Масса срединная 389
Массив вулканический 195, 402
— интрузивный 98, 111, 127, 402
— континентальный 209
— остаточный срединный 163
— ранней консолидации 163
— рифовый 4, 24, 52, 92, 106, 138
— серпентинитовый 361
— «серых гнейсов» 254
— соляной 112, 115, 116, 133, 276
— срединный 89, 145, 163, 177, 186, 238, 251, 260, 341
— щитовой 251, 255, 279
Мегабудинаж 179
Мегагея 91, 235
Мегакомплекс 159, 248, 252
Мезосфера 410
Меланж 74, 113, 227, 348
— мономиктовый 349
— осадочный 349
— полимиктовый 349
— сложный 349
— тектонический 349

Метод актуализма 53, 240, 241, 267, 273, 274, 278, 294, 429
— *мощностей 6, 67, 296*
— кройки 417
— объемного анализа 68
Метрика геологического времени 63, 64
Механизм внешнего импульса 307
— общей деформации 307
Мигматиты нормальные 119, 120
— чарнокитовые 119
Микроконтинент 242
Микроплита 398
Микроплойчатость 73
Микрослоистость 58
Миогеосинклиналь 166, 176, 227, 245, 414
Мобилизм 41, 93, 197, 383, 413
Модель Буллена 333
— Гуттенберга 332
— «Новосибирская» 252, 254
— полиастеносферная 333
— прогнозная 44
Моласса 249
Мощность первичная 94
— характеристики 22
— хроностратиграфического поля 62
Мульда 125
— компенсационная 280
— наложенная 166
— унаследованная 166

**Н**адвиг 7, 76, 78—81, 86, 87, 96, 97, 281, 308, 309, 312, 378, 379, 408
— альпийского типа 79
— аппалачского типа 79
— вахшского типа 79
— *глубинный 86*
— покрова 79
— типа скалистых гор 79
— успенского типа 79
— чешуйчатый 281
— шотландского типа 79
Надформация 144, 151
Наллагайний 246
Наппизм 78, 380
Некк 127, 131, 133
— вулканический 175
— нефтевулканический 131
«Неоднородность» 343, 344, 353, 354, 357, 381, 392
*Неомобилизм 390*
Неоокеан 224
Неоплатформа 231
Несогласие 70, 141, 303, 316
— местное 70, 71
— региональное 70, 193
— угловое 27, 173, 318, 379
Несоответствие плановое 108

**О**бласть активизации 344
— геосинклинальная 25, 101, 156—159, 165—168, 171—173, 211, 243, 301, 305, 389
— — линейная 242
— — мозаичная 242
— треугольная 242
— — современная 222
— — эпикратонная 166
— геоструктурная 253
— зеленокаменная 254, 255
— континентальная 29, 50, 69, 156, 238, 345, 397
— межплатформенная 236
— океаническая 3, 29, 50, 156, 194, 202, 226, 238, 324
— орогенная 158
— платформенная 25, 29, 34, 35, 77, 101, 139, 145, 146, 155—160, 162, 177, 183, 185, 190, 193, 194, 220, 238, 243, 292, 314, 370, 421
— плестосейстовая 281
— подвижная 102
— сгущения зеленокаменных поясов 255
— серогнейсово-зеленокаменная 255
— складчатая 31, 78, 89, 101, 116, 154, 158—160, 164, 193, 251, 309, 340, 341, 361
— — тимптонского типа 255
— — свекофенского типа 256
— солянокупольная 133, 183, 198
— спрединговая 222
Оболочка гипергенная 29—37, 47, 48, 50, 57, 68, 72—74, 81, 86, 87, 89, 94, *95, 109, 133, 134, 142—144, 151, 152,* 154—163, 167, 173, 174, 177, 178, 181, 186, 188—190, 192—194, 197, 203—205,

210, 212, 218, 220—226, 229, 234, 235, 239, 243—245, 250, 257, 261, 262, 264, 273—275, 290, 307, 308, 311, 319, 321, 322, 330, 331, 345, 346, 349—351, 355, 357, 359, 364, 367, 374, 377, 378, 412, 431, 432
— — континентального типа 208, 222, 225, 234, 235
— — океанического типа 208, 222, 232, 233
— земная 87
— континентальная 232, 235
— кристаллическая 240
— сиалическая 224
— симатическая 384, 393
Объект тектоники 4, 5
Океанизация 210, 222, 224—226, 232, 233, 235
Океаногенез 314
Олистолиты 81
Олистостромы 81, 228
Оползень 74
— наземный 80
— подводный 80
Опрокидывание складок 108
Опускание компенсационное 111
— перикратонное 184, 185
Ороген 176, 244, 381
Орогенез 171, 305—307, 312, 316, 387, 426
Ортогеосинклиналь 156, 165, 251
— межконтинентальная 156
— околоконтинентальная 156
— срединземная 156
Основание складчатое 102, 159, 180, 181, 205
Отдел 59
Офиолиты 244, 346, 412
Очаг магматический 31

Палеозона Беньофа 361
Панплатформа 221
Парагенез 8, 48, 139, 140, 144, 157
Парагеосинклиналь 228
Паралиагеосинклиналь 166, 176, 183, 197
Перекрытие аллохтонное 232
— шарьяжное 78
Перерыв 70, 315
— местный 70
— региональный 244, 304
Период эпейрогенический 314
Плакантиклинали 99
План тектонический 91
Пластина аллохтонная 227
— офиолитовая 358
Платформа 6, 31, 32, 34, 36, 48, 54, 59, 85, 89, 90, 94, 99, 101, 103, 114, 130, 141, 142, 147, 151, 153, 154, 156, 157, 159, 161, 168, 169, 171, 177—180, 182—187, 189—193, 197, 205, 213, 220, 222, 224, 230, 232, 236, 242, 251, 255, 256, 301, 304, 314, 340, 344, 369, 381, 389, 398, 400, 413, 431
— древняя 32, 159, 161, 162, 165, 177—182, 186—189, 197, 235, 236, 238, 251, 255, 361, 413
— малая 177
— мезозойская 160
— молодая 29, 161, 162, 180—182, 188, 189, 196, 231
— океаническая 156, 194
Плита 176, 179—182, 187, 192, 195—197, 201, 204, 214, 219, 232, 236, 240—242, 377, 381, 396—400, 405, 418, 419, 421
— континентальная 378, 397, 424
— литосферная 7, 203, 212—215, 222, 240, 354, 358, 395, 399, 402, 406, 407, 409, 411, 412, 417, 419—421
— малая 417
— огражденная 181, 188
— океаническая 195—197, 203, 204, 356
— окраинного моря 195, 196
— погружающаяся 409
— эпипалеозойская 181
«Плотность» складчатости 35
Плутон 71, 120, 133, 148, 168, 376
— отслоения 119
— гармоничный 120
— дисгармоничный 120
— дисконформный 120
— дискордантный 120
— конкордантный 120
— конформный 120
— пластовый гранитоидный 119
— пограничный 120

— поперечный 120
— продольный 120
— трещинный 49, 120
— ядерный 120
Плутонизм 171
— высокоорогенный 169
— синорогенный 169
Поверхность апикальная 78
— изохронная 239
— Конрада 223, 327, 351
— Мохоровичича (Мохо, М) 87, 181, 230, 257, 258, 326, 327, 334, 348, 351, 353, 355, 359, 361, 367, 368, 375, 393
— несогласия 68, 70, 159, 307
— региональная 70
— осевая 107, 108
— перерыва 68
Поддвиг 281, 408
Поднятие 33, 69—71, 73, 81, 106, 107, 109, 114, 115, 166, 179, 191, 196, 200, 304, 313, 314, 421
— антиклинальное 106, 119
— брахиантиклинальное 299
— вулканическое 200
— дугообразное 423
— квазиупругое 328
— куполовидное 299
— локальное 32
— неотектоническое 326
— океаническое 201
— сводовое 190
— современное 279
— соляное 115
— срединноокеаническое 195, 196, 199, 200, 203
— эвгимническое 190
— эвстатическое 35
Подформация 140, 144
Подэтаж структурный 160
Подъярус 59
Покровы второго рода 79
— первого рода 79
— тектонические 228, 379
Поле хроностратиграфическое 62, 68
Порядок размеров геологических тел 21, 47
— структуры 25
Поток грязевый 74
— лавовый 74
— тепловой 37, 89, 200, 203, 364, 369, 376, 392, 400, 426
Пояс вулканический 189, 256, 396
— вулканотектонический 209
— геосинклинальный 162, 163, 205
— — складчатый 162
— гипербазитовый 148
— граничный троговый 256
— зеленокаменный 83, 226, 241, 249, 252, 254, 432
— орогенический 120, 208
— продольно-петельчатый 123
— позднеорогенный краевой 241
— сейсмический 393, 396
— складчатый 86, 89, 397
— срединный океанический орогенический 156
— талассогеосинклинальный 207
Праконтинент 208
Пракратон 208
Праокеан 208, 224
Предмет тектоники 5, 72
Признаки вещественные 32, 35, 40, 65, 220
— геометрические 33, 34
— несобственные 29, 59
— основные 29
— собственные 59
— структурно-вещественные 28—30, 33—35, 150, 152, 155, 194
— структурные 32—35, 40, 290
— фациальные 64, 65
— формационные 33, 220
Прилив твердый 52
Принцип актуализма 35, 39, 43, 52, 53, 75, 175, 195, 232, 295, 323, 324, 331
— генетический 330
— комплексности 330
— однородности описания 32, 33, 37
— оптимальной минимизации 22, 37
— последовательности формирования геологических тел (последовательности напластования) 38, 39, 43, 51, 75, 273, 295, 331
— соразмерности 21, 24, 25
— специализации 13, 14, 24, 29, 30, 37, 58, 63, 209, 228, 230, 232, 303, 348, 352, 429, 430
— суперпозиции гипотез 328

— унаследованности 413
— униформизма 58
— целесообразности 28, 31, 32
Природа геологическая 14, 15, 17, 18 29
— — структуры 25
Прогиб 4, 33, 71, 73, 80, 82, 91, 101, 108, 124—126, 146, 147, 162, 166, 182, 184, 191, 196—199, 236, 243, 256, 301, 314, 422
— грабен 82
— внутренний 155
— геосинклинальный 154, 249, 300
— компенсированный 126
— краевой 101, 102, 138, 147, 154, 155, 160, 163, 171, 184—186, 188, 192, 197, 223, 302, 306, 321
— межгорный 188
— межконтинентальный средиземноморский 195
— многогеосинклинальный краевой 432
— некомпенсированный 126
— новообразованный 172
— передовой 185, 197
— периокеанический 195—197, 199, 204, 214, 215, 218, 433
— перикратонный 184, 188, 242
— поперечный 198
— предгорный 188
— терраакваториальный 197
— шовный рифтовый 226
Производительность тектонических сил 296
Проорогенез 169
Пространство геологическое 3, 10—14, 18, 19, 21, 25, 28, 30, 37, 58, 174
— — двумерное 26, 28
— — квазистатическое 12, 25, 33, 37
— межвпадинное эвгимническое 190
— — неполноопределенное 14, 19, 329
— — нерегулярное 13, 14
— — — оптимизированное 14
— — одномерное 26, 28, 58
— — полноопределенное 14, 19, 35, 329
— — регулярное 13, 14
— — специализированное 13, 17
— — трехмерное 11, 26, 28, 45
Протоген 381
Протокора 226, 231, 264
Протрузия 128
— гипербазитовая 172
Процесс астеносферный 375
— внутрикоровый 383
— внутримантийный 383
— геосинклинальный 175, 176, 208, 212, 222—225, 232, 235, 236, 407, 426
— дислокационный 36, 315
— инъективный 245, 260
— мантийный 325
— орогенический 169, 315
— плутонический, сиалический, интерцендентный 171
— складкообразовательный 389
— складчатый 211
— спрединговый 212
— структурообразующий 322, 323
— тектонический 3, 175, 208, 289
— — экзогенный 359
Псевдогеоизохроны «шершавые» 239, 248
Пучок миндалевидный 100

Раздвиг 126, 422
— глубинный 87
Раздув 117
Разлом 6, 75, 76, 80, 82—85, 89—91, 93, 95, 101, 117, 118, 127, 131, 133, 134, 161, 172, 183, 184, 193, 196, 199, 204, 214, 222, 243, 255, 256, 260, 262, 281, 289, 292, 309, 321, 323, 379, 384, 392—394, 397, 400, 405, 417, 432
— внутримантийный 86
— второго ранга 153
— глубинный 17, 32, 36, 78, 80, 85, 86, 88—90, 94, 119, 148, 152, 162, 164, 177, 190, 302, 322, 327, 344, 390, 399
— — диаторический 88
— — кататропный 88
— — поперечный 90
— — сквозной 90
— — тангенциальный 86
— — эпитропный 88
— коровый 86
— надбазальтовый 86
— надгранитный 86
— первого ранга 153
— подземный 86

— поперечный 220
— прочий 153
— скрытый 86
— слепой 86
— трансформный 75, 287
— широтный 288
Размах складчатости изоклинальной 105
Размеры геологических тел 21, 28
Разрыв 15, 16, 20, 111, 126, 313, 377, 405, 432
Районирование тектоническое 28—33, 36, 37, 85, 101, 140, 142, 144—146, 150—156, 161, 167, 214, 220, 229, 230, 243, 400, 422
— — объемное 35, 154, 158, 160
Рама складчатости 100
Ранги структурных элементов 31
Рассланцевание 128
Расслоенность тектоническая 289, 308, 353, 354
Растяжение 125, 126
Регенерация свеко-норвежская 186
— Большая 235, 236
Режим геосинклинальный 34, 153
Реконструкции ретроспективные 18, 37
Рептохронность 62, 248
Решетка силлов и даек 126
— структурная 25—27, 47, 48
— — вертикальная 48, 130
— — горизонтальная 130
Ритм 20, 21, 48, 249
Ритмичность 58, 248, 310
Рифт 82, 149, 241, 398
Рифтогенез 414
Ров геосинклинальный 205
Ряд вертикальный 224, 245
— геосинклинальный 175, 229
— континентальный тектонических форм 191, 193
— латеральный 224, 245
— формаций (формационный) 28, 48, 52, 140, 146, 147, 150—152, 172, 196, 243
— — абстрактный 146
— — вертикальный 151, 220, 249
— — геосинклинальный 158, 227, 250
— — орогенный 158
Сбрасыватель 112
Сброс 18, 23, 54, 76, 78, 86, 93, 97, 98, 129, 166, 183, 292, 296, 309, 315
— глубинный 86
— диагональный 96, 97
— конседиментационный 309
— нормальный 82, 96, 406
— эпиантиклинальный 75, 96
— ступенчатый 281
Сбросо-сдвиг 281, 282
«Свидетели» глубинные 327
Свод 33, 83, 97, 107, 108, 193, 296
— континентальный 190, 192, 237
— платформенный 182
— шлировый 98
Сдвиг 76, 78, 84, 92, 94, 281, 292, 309, 322, 384, 400, 401, 405
— глубинный 86
— горизонтальный 309
— межпластовый 93
— неотектонический 292
— широтный, океанический 401
Сдвиго-надвиг 422
Серия 21, 56
— изоклинальная 104, 105
— магматических комплексов 144
Сеть регматическая 91
— сбросовая 96
Сжатие боковое двустороннее 108
— — одностороннее 108, 109
— горизонтальное 254, 309
— общее 125
Сиаль 255
Силл 71, 74, 111, 112, 123, 125—128, 130
Синеклиза 69, 91, 93, 94, 102, 103, 108, 125, 145, 149, 178, 182—184, 191, 195, 225, 245, 280, 302, 306, 311, 313, 314, 356, 367, 382
— краевая поперечная 90
— пришовная 191
Синклез 58
Синклинал-плутон 120
Синклиналь 33, 71, 95, 106, 107, 113, 185, 300, 306
— краевая 111, 182
— надразломная 184
— проседания 97
— шовная 97, 184

Синклинорий 26, 95, 146, 244, 311,
— краевой 185
Синодея 187
Синорогенез 312
Синформа 249
Синэпейрогенез 312, 315
Система 21, 59
— геосинклинальная 31, 48, 52, 54, 100, 138, 154, 159, 163, 164, 169, 171, 175, 178, 180, 184, 186, 189, 193, 194, 206, 207, 209, 220, 221, 223, 236, 238, 382, 390, 398, 411, 427, 431
— — складчатая 154, 205, 214
— — эпикратонная 227
— глобальная срединноокеанических поднятий 199
глубинных разломов 374
— динамическая 36—43, 75, 84, 394
— — экспериментальная 38
— М (Мохо, Мохоровичича) 356
— миогеосинклинально - эвгеосинклинальная парная 176
— каркасная 5, 259
— квазистатическая 22, 33, 37, 39, 40, 42, 43, 45
— концентрическая 134
— краевая 184—186
— — поперечная 90
— надвиговая 75
— ортогеосинклинальная 156
— островная 206—208, 210, 216, 224
— островодужная 195, 196
— периокеанических прогибов 203
— перистая 84
— поперечных дислокаций «позвоночник» 90
— разломов планетарная 90
— резкостных границ 15, 16
— ретродинамическая 38
— ретроквазистатическая 38
— ретроспективная 33, 37—42
— рифтовая 87, 202, 400, 411, 433
— сейсмофокальная 215
— силлов и даек 126
— складчатая 34, 83, 159, 191, 209, 213, 223, 224, 238, 374, 380, 390, 417
— — ксеногенная 224
— — линейная 100, 185
— срединноокеанических поднятий 203
— «типа Е» 90
— трещин 76, 432
— флюидная 5, 259, 260, 355
— чешуйчатая сложная 78
— широтных разломов 400
Складка 18, 23, 34, 54, 73, 75, 76, 94—96, 98, 101—103, 107, 108, 309, 312, 313, 380, 381
— аномально плотностная 48
— антиклинальная 18, 26, 95, 96, 280
— блоковая 97
— брахиформная 24
— волочения 80, 81, 106
— глубинная 101
— диапировая 66, 105, 111—113
— дилатационная 97
— дисгармоничная 99, 104, 105
— идиоморфная 27
— изоклинальная 102, 104—106
— конседиментационная 106
— концентрическая 104
— коробчатая брахиформная 97
— криптодиапировая 113
— куполовидная 102
— линейная 24, 27, 102, 105, 185, 422
— мелкая платформенная 103
— навешанная 99
— надразломная 97, 109
— надразрывная 97
— нарушенная диагональными сбросами и сдвигами 96
— облекания 99
— опрокинутая 74
— осложненная продольными надвигами 97
— осложненная системами поперечных сбросов и сдвигов 96
— отраженная 99
— параллельная 100, 109
— перемятая 98
— платформенная 27, 66, 102, 103
— платформенного типа пологая 99
— — — флексурообразная 185
— погребенная 99
— подобная 104
— покровная 101
— прерывно конседиментационная 106
— приразломная 97, 252

— разбухания 70
— синклинальная 18, 26, 95
— *сжатия* 102
— сквозная 99
— со слоями постоянной мощности 104
— с различным распределением мощностей в разных слоях 105
— с увеличенными мощностями на сводах 104
— с уменьшенными *мощностями в* своде 105
— с ядром протыкания 112
— уплотнения 67, 109
— флексурообразная 103
— *фронтальная* 109
Складкообразование 80, 91, 97, 103, 107—111, 125, 168, 169, 235, 279, 309, 316—318, 323, 385, 387
Складчатость 31, 34, 35, 80, 85, 95, 97—99, 101—103, 105, 106, 108, 109, 126, 153, 163, 164, 166, 168, 169, 171, 185, 193, 214, 221, 225, 255, 256, 306, 307, 312, 313, 315, 318—320, 387, 389, 413, 414
— активная 97
— альпинотипная 165
— байкальская 33
— германотипная 171
— геосинклинальная 33, 156, 426
— «главная» 30
— изоклинальная 101, 104, 105
— конседиментационная 106
— напряженная 120
— основная 120
— пассивная 97
— *перекрестная многократная* 249
— платформенная 103
— постседиментационная 106
— постумная 103
— сланцеватости 98
— унаследованная 102, 103
Скольжение горизонтальное 101, 113
Скучивание 225, 226
Сланцеватость 83, 123
— кристаллизационная 120
Слой (слои) 15, 18, 57, 58, 61, 67, 68, 75
— астеносферный 365, 370, 411, 412, 426, 427
— «базальтовый» 31, 133, 223, 233, 341, 352, 353, 356, 358, 359, 362
— «гранитный» 31, 88, 133, 223, 224, 226, 235, 263, 341, 358, 359, 362
— гранито-гнейсовый 356
— гранито-метаморфический 230, 231
— гранито-осадочный 376
— гранулито-базитовый 356
— диктующий 110
— *компетентный* 109
— конический интрузивный 134
— некомпетентный 109
— океанический второй 176
— — первый 176
— «осадочный» 362
— переходный 335
— перидотитовый 359
— промежуточный 332
— слабокомпетентный 109
— сложный 59, 105
— — складчатости изоклинальной 105
— эклогитовый 356
*Слоистость* 71
— гравитационная 71
— — ритмическая 71
— плотностная 50
— ритмичная 71
Смесь коро-мантийная 376
Смещение дисгармоническое 107
— сводов 107, 108
Сооружение складчатое *100, 101, 164,* 181—183, 189, 191, 208, 236, 244
Спрединг 202, 216, 218, 222, 231, 234, 256, 261, 349, 354, 378, 391, 394, 399, 401, 402, 405—408, 410, 411, 418—420
*Стадия пангеосинклинальная* 221, 250, 260
— панплатформенная 221
Столб соляной 115
Стратоантиклиналь 98
Стратоизогипсы 32
Стратоинверсия 264
Строение слоистое 71
— *платформенное* 78
— слоистое гипергенное 50
— — гипогенное 50
— глубинное 31, 328
— чешуйчатое 37

Структура блоковая 93, 94, 236
— геологическая 3, 5, 10, 11, 24, 30, 37, 46, 138, 175, 239, 240, 251, 308, 430
— *геосинклинальная* 233
— гипергенная 193
— глубинная тектоническая 164
— гнейсовая 171
— гранитная 171
— кольцевая 134, 136, 394
— конского хвоста 84, 101
— купольная 248
— логическая 25, 26
— локальная **297**
— мозаичная 402, 422
— мозаично-блоковая 344
— мозаично-глыбовая 423
— *надсолевая* 66, 105
— перекрестная 248
— петельчатая 247
— реликтовая 121
— решетчатая 248
— складчатая 104, 117, 119, 173, 231, 233, 316, 318
— слоистая 3, 26, 49, 57, 58, 70—73, 93—95, 98, 109—111, 117, 119, 133, 258, 344, 370
— — гипергенная 72, 415
— — гипогенная 72, 133
— гравитационная 133
— — *течения* 133
— соляно-купольная 112
— тектоническая 4, 294, 295
— чешуйчатая 104
— чешуйчато-складчатая сложная 78
Структурообразование 3, 325, 326
Ступень тектоническая 406
Субблок 398
Субдукция 212, 213, 218, 222, 241, 261, 370, 378, 379, 391, 393, 394, 399, 401, 405, 406, 408, 410, 418, 419
— континентальная 393
— литосферно-плитная 393
— *подкоровая* 393
Субформация 144
Сфенохазм 178
Сцепление 100

**Талассогеосинклиналь** 207, 210
Талассократон 156, 204, 405, 422
Талассогенез 314
Тафрогенез 312, 314
Тафрогеосинклинали 166
*Тектогенез* 74, 317, 318, 372, 426
— гравитационный 109
— «дива» 193
Тектоника 4, 5, 7, 9, 10, 12, 46, 72
— германотипная 251
— гипсовая 97, 112, 115, 274, 303
— глобальная 93, 137, 388, 390, 433
— — новая 390, 391
— — *старая* 390, 412
— глубинная 3, 53, 55, 239, 250, 327—332, 346, 353, 367, 393, 402, 429
— гравитационная 4
— гранито-купольная 249
— *динамическая* 3, 273, 274
— литосферных плит 178, 199, 215, 232, 261, 356, 362, 380, 390, 391, 394, 399, 400, 402, 404, 411, 413, 418, 421
— магматическая 131, 433
— мультиплитная 264
— накипи 264
— новая глобальная 362, 411, 421
— плит (плитная) 7, 56, 93, 174, 177, 240, 242, 310, 312, 393, 394, 397, 398, 406, 411, 412, 419, 420
— покровная 349
— региональная 433
— сдвиговая 37
— соляная 3, 112—114, 303
— старая глобальная 380
— экспериментальная 430
Тектоноген 427
Тектоноконцентр 136
Тектонопара 421—423
— континентальная 422
— *новейшая* 423
— океаническая 422
— переходная 422
— региональная 422
Тектоносфера 350
Тектосфера 421
Тело (геологическое) 3, 4, 10, 12, 19, 27, 28, 30, 31, 34, 37—40, 45, 47, 53, 58, 59, 61, 65, 66, 76, 77, 85, 110, 132, 138—140, 162, 165, 173, 182, 190, 194, 218, 258, 273, 282, 298, 308, 342, 344,

348, 354, 430
— (геологическое) двумерное 22, 61,
— внутриформационное 111
— гипергенное 53
— глубинное 339
— бескорневое неправильное 119
— гипогенное 53
— гранитоидное 118
— дизъюнктивное 19, 84, 395
— интрудированное 119
— интрузивное 78, 83, 85, 88, 100, 118, 123, 126, 128, 252, 376
— — пластовое 127
— инъективное 27, 110, 111, 123, 132, 140
— — бескорневое 132
— — крутопадающее 132
— — макроскопическое 132
— — метасоматическое 117, 140
— — микроскопическое 132
— — несиликатное 132
— — пологое 132
— — простое 132
— — силикатное 132
— — сложное 132
— — углеводородное 132
— — угольное 132
— камерное инъекционное 123, 125
— квазидизъюнктивное 19
— линейное 24
— линзовидное 35
— магматическое 42, 88, 118, 119, 120, 126
— интрузивное 118
— метасоматическое 116
— нарушенное 19, 76, 398
— одномерное 22, 61
— пересечения 19
— пластовое 126, 351
— плоское 35
— плотностное 343
— покровообразное 123
— произвольное 19, 52, 153
— простое 19—21, 25, 27, 155
— расслоенное 250
— резкостное 19, 65, 153—155, 398, 399
— рудное 85, 117
— сейсмологическое 257
— секущее 119, 249
— сложное 19—22, 24, 25 27, 31, 58, 155
— соляное трещинное 119
— стратиформное 249
— составное 20, 22, 24, 25
— траповое 123
— трехмерное 32
— условное второго класса 19, 26
— — первого класса 19, 35, 36
— — третьего класса 19
— эксплозивное интрузивное 128
— Клооса 122
Теория геосинклиналей 157, 174, 175, 210, 212, 219, 381, 413
Течение конвективное 325
Тип формационный 140
Торошение 407
— фронтальное 288
«Точка горячая» 394, 395
Трещина 17, 77, 281
— вертикальная 77, 78, 90—92, 123
— горизонтальная 123
— диагональная 78
— кливажа 125
— косая 77
— напластования 125
— нормальная 77, 78, 123
— первичная 78
— планетарная 92
— пластовая 77, 123, 126, 131
— платформенная 93
— пологая 78
— поперечная 78
— продольная 78
— прототектоническая 78
— раздвигания 126
— растяжения 80, 124—126
— скола 126
— сейсмотектоническая 130
— тектоническая 77
— эндогенная 77
— экзогенная 77
Трещиноватость 14, 31, 75—78, 117, 125, 251, 309, 360, 405
— планетарная 90, 91
— платформенная 93, 97
— удельная 76
Трог 187, 249

Трубка взрыва 127, 149, 183
— кимберлитовая 21, 127

Удоканий 246
Улканий 246
Ультраактуализм 240
Ультранаппизм 78
*Ундуляция* 306
Ундация 306
Унаследованность 36, 190, 280
*Уровень организации* 46, 47
— — атомно-молекулярный 46, 48
— — планетарный 46, 48—50, 57
*Условия фациальные* 64

Фаза орогеническая 6, 171, 219, 312, 315, 317, 318, 321, 322
— складкообразовательная 315
— складчатости 169, 171, 172, 317
— тектогенеза 318
— тектоническая 318, 319
Факолит 127
Фация 8, 62, 64, 134
Фиксизм 41, 93, 197, 382—384, 413
Флексура 18, 26, 90, 296
Фокус интрузивных конических слоев 134
Форма геологического тела 23
— геотектогенеза складчатая 312
— — магматическая 312
— — колебательная 312
— орогенная 312
— сбросовая колебательных движений 312
— синклинальная 125
— складчатая 307
—структурная 4, 6, 29, 34, 45, 70, 74, 83, 95, 101, 105, 113, 114, 116, 167, 169, *171*, *188*, *190*, *197*, *213*, *214*, *217*, 218, 237, 238, 343, 397, 421
— — глубинная 164
— *тектоническая* 6, *73*, *76*, *79*, *108*, 110, 114, 138, 182, 188, 194, 200, 296—298, 303, 305
— — *дизъюнктивная* 111
— — куполовидная 245
— — конседиментационная 6
— — *крупная* 33
— — пликативная 111
— — чашеобразная 245
*Формация абстрактная* 139—143
— автохтонная 146
— аллохтонная 146
— *аспидная* 142, 145, 146, 244, 249
— базитовая 251
— второй генерации 140
— *вулканогенная* 140
— вулкано-плутоническая 140
— габбро-диабазовая 148
— геологическая 30, 33, 35, 47, 48, 52, 138, 140, 141, 152, 155, 157, 190, 259, 381
— геосинклинальная 35, 144, 160, 171, 181, 189, 320
— гипербазитовая 148
— глинисто-граувакковая 351
— глинисто-кремнистая 351
— глинисто-сланцевая 164
— гранитных и габбро-гранитных центральных интрузий 149
— гранито-гнейсовая 254
— граувакковая 226, 244
— джеспилитовая 164, 244, 249
— железисто-кремнистая 226
— железорудная 141
— зеленокаменная 145, 164
— интрузивная 139, 140
— карбостромовая 250
— конкретная 139—141
— кремнистая 146
— кремнисто-вулканогенная 145
— кремнисто-карбонатная 226
— кремнисто-сланцевая 145
— магматическая 36, 139, 140, 143, *145*, *147*, *149*, *150*, *158*, *171*
— — второго рода 140
— — первого рода 140, 147
— *марганцевая* 141
— метаморфизованная 140
— метаморфическая 139, 140, 150
— *всемирная* 139
— молассовая 142, 145, 158, 164, 184, 185, 244
— молассоидная 145
— морских моласс 147
— наслоенная 48
— неспецифическая 145
— океаническая 206

— орогенная 155
— осадочно-вулканогенная 139—141, 144, 147, 155
— осадочная 36, 139—141, 144, 147, 150, 155, 158
— офиолитовая 228, 230
— островных дуг 207
— первой генерации 140
— петрографическая 139
— платформенная 145, 149, 160, 181, 189
— покровно-силловая 149
— порфировая 249
— провинциальная 139
— региональная 139
— рудная 10, 140
— — автохтонная 140
— — аллохтонная 140
— — трансформационная 140
— — формационная 140
— сланцево-плагиогнейсовая 254
— соленосная 114, 184
— специфическая 145
— спилит-диабазовая 148, 226
— спилито-кератофировая 139, 244, 248, 249
— трапповая 123, 128, 183, 244
— угленосная 145, 184
— фаллаховая 250, 251
— флишевая 142, 145, 147, 164
— флишоидная 145, 249, 251
— центральных интрузий нефелиновых сиенитов 149
— щелочных и ультраосновных пород с карбонатитами 149
— чехлов 35
— яшмовая 164, 244
Фронт седиментационный 365

Фундамент 31, 32, 54, 89, 95, 101, 154, 159, 161, 177—180, 182, 184, 186, 187, 190, 191, 201—203, 220, 221, 227, 230, 231, 236, 238, 243, 251, 256
— акустический 203
— кристаллический 207, 343
— меланократовый 210, 216, 226, 231, 232, 347, 348
— океанический 202, 247
— сиалический 247

Характеристики вещественные 243
— взаимно согласные 16
— генетические 65
— динамические 33, 35, 36
— квазистатические 33
— маломощные 22
— мощные 22
— согласные 16
— структурные 35, 243
— формационные 29, 162
Хонолит 127
— спрединговый 404
Хребет срединноокеанический 137, 156, 201, 202, 214, 215, 334, 347, 349, 356, 361, 369, 371, 374, 402, 409, 427

Цикл геотектонический 319, 320
— складчатости 321, 388
— спрединга 410
— тектонический 172
— тектоно-магматический 171
Цикличность 169

Чехол 29, 31, 32, 54, 94, 95, 102, 103, 114, 136, 154, 159, 161, 162, 177—184, 186—188, 192, 202, 251, 252
— платформенный 102, 128, 159, 160, 178, 179, 186, 193, 194, 245, 432
— протоплатформенный 255, 432
Чешуя офиолитовая 153, 216, 226, 347, 378
— тектоническая 74, 148, 210, 232, 347, 379
Член формации аллофильный 141
— — патрический 141

Шарнир складки 109
Шарьяж 74, 78, 79, 81, 113, 228, 255, 308, 309, 354, 377, 380
Шов краевой 89, 177, 184 191
— структурный 379
Шток 24, 112, 138
— соляной 112, 115
— — прорванный 134

Щит 179—181, 186, 187, 189—191, 213, 221, 226, 238, 245, 251, 248, 254, 255, 265, 321, 328, 334, 340, 342, 343, 346, 356, 357, 368, 369, 376, 377, 382, 398
— остаточный 187

Эвгеосинклинали 51, 144, 165, 166, 169, 229, 245, 256, 260, 347, 349, 411, 414, 432
Эворогенез 69
Эврилитема 58
Экзогеосинклинали 166, 176
Экзодислокации 74
Экзомантия 352
Эксперименты тектонические 273
Эксплозия закрытая 128
Элементаризация 21, 22, 25, 27—29, 31
Элементы залегания 25
— слоистой структуры 58
— структурные 3, 10, 21, 22, 24—37, 46—48, 77, 120, 138, 140, 141, 143, 150—164, 167, 168, 172, 173, 177, 180, 181, 186, 188, 190, 193, 194, 197, 200, 207, 210, 214, 220, 229, 237, 238, 242, 243, 247, 254, 255, 258, 319, 343—345, 357, 389, 420, 422, 431, 432
— — второго ранга 31, 43
— — первого ранга 31
Энергия тектоническая 49, 289
Эндодислокации 74
Эоплатформа 255
Эпейрогенез 169, 294, 306, 307, 312, 315, 316
Эпейролитема 58
Эпиэвгеосинклинали 166
Эпицентр конседиментационной складчатости 106
Эпоха активизации рифтовых зон 414
— доактуалистическая 257
— растяжения 414
— складчатости 413, 427
Этаж алданский 248—252
— афебский 250—252, 260
— киватинский пангеосинклинальный 249—252, 260
— рифейский 247, 252
— складчатости 102
— — глубинный 79
— — надвиговый 79
— — поднадвиговый 79
— структурный 27, 35, 102, 123, 151, 154, 155, 159, 160, 163, 166, 188, 193, 197, 220, 243
Этап архигеосинклинальный 160
— геосинклинального погружения 169
— геосинклинальный главный 160, 169
— орогенный 160, 169
— пасторогенный 188
— предчехольный 188
— теликогеосинклинальный 160, 169
Этмолит 127

Ядро 128, 257, 262, 263, 302, 329, 332, 337, 338, 362, 363, 365, 366, 372—375, 382, 399, 426, 428
— антиклинали 128
— внутреннее 333—335
— внешнее 333—335
— гидридное 426
— глиняное 110
— диапировое 118, 128, 129
— дисгармоническое 105
— железо-никелевое 372
— зеленокаменное 247
— континентальное 264
— протыкания 112
— серпентинитовое 128
— соляное 110
— стабильное 136
Ярус 21, 59
— структурный 243
— парагеосинклинальный 188
— переходный 188
— промежуточный 188
— структурный 95, 159, 166, 177, 188, 192, 321

**А**дамс Л. 337, 338
Айзекс Б. 391, 392, 397, 408—410
Ален М. 283
Альф Г. Х. 337
Антейсгейстер Т. 386
Апродов В. А. 166, 322
Арган Э. 100, 101, 221, 384
Артюшков Е. В. 362, 366—371, 373—378, 380, 381, 392, 399, 429, 428
*Архангельский* А. Д. 8, 113, 167—169, 174, 211—213, 224, 244, 305, 320, 321, 388, 389, 412
Афонасьев Г. Д. 358—361

**Б**арелл Д. 333
Башарин А. К. 242, 248, 250, 255, 260
Бейли И. 348
*Белевцев* Я. Н. 317
Белоусов А. Ф. 149, 235
Белоусов В. В. 6, 9, 67, 86, 110, 212, 232, 300, 309, 312, 313, 315, 316, 356, 381—383
Бердников Н. В. 424
Берг 359
Берзин Н. А. 242, 248, *260*
Бернс К. 241, 252
*Бетстойн* Г. 385
Билибин Ю. А. 139
Бирина Л. М. 295
Богданов А. А. 156, 165, 167, 184, 244
Богданов Н. А. 207, 210, 234
Борисов А. А. 258
Бормотов В. А. 432
Борисяк А. А. 157, 174, 221
*Борн* А. 389
Боровиков А. М. 401
Борукаев А. М. 128
Борукаев Ч. Б. 242, 248, 252—256, 260
Бранд Ж. 268
Брейтгаупт А. 139
Бровков Г. Н. 143
Бронгулеев В. В. 103
Брюн Д. 334
Брянский Л. И. 432
Бубнов С. Н. 104, 317, 319
Буллард Е. 402
Буллен К. 56, 333—335, 337—339
Буялов Н. И. 179
*Бух фон Леопольд* 5, 6
Быханов Е. В. 383

**В**айн Ю. Ж. 401
Вакье В. 56, 401, 403, 406
Вальтер И. 64
Васильев Б. И. 216, 406
Вассоевич Н. Б. 316
Вахрамеев В. А. 301
*Ващилов* Ю. Я. 86
Вегенер Д. 221, 314, 383, 384—387, 390, 412, 416, 417
Вегман Е. 293
Вернадский В. И. 54
Виллис Б. 383
Вильямсон Б. 337, 338
Виттинг Ф. 279
Вихерт Э. Е. 332, 337
*Власов* Г. М. 166
Войновский-Кригер К. Г. 92, 105 309
Войткевич К. В. 265
Волонтей Г. М. 242
Вотах О. А. 242
Высоцкий Б. П. 112

**Г**арецкий Р. Г. *301*
Гейгер Л. 332
Гейм А. 309
Гексли Т. 62
Герлинг Э. К. 265
Гзовский М. В. 97, 113, 289
Гилберт Г. К. 294, 312
Гинтов А. В. 136
Глуховский М. З. 134, 136
*Гогель* Ж. 8
Годин Ю. Н. 356
Головкинский Н. А. 113

Голицын Б. 332
Горкуша С. В. 424
Горшков Г. С. 283
Грачев А. Ф. 241, 252, 254
Губкин И. М. 112, 300, 379
Гумбольдт А. 5
Гутенберг Б. 86, 257, 305, 332—335, 337, 359, 369, 370, 371

Даль В. 55
Джеффрис Ф. 334, 337
Дзевановский Ю. К. 255
Диц Р. 352
Добрецов Н. Л. 89
Доплер К. 268
Дубровский В. А. 285
Дэли Р. О. 120, 121, 123
Дэна Д. 33, 64, 213, 381

Елисеев Н. А. 120, 122

Заварицкий А. М. 8, 86
Захаров С. А. 292, 317
Захаров Е. В. 179
Зоненшайн Л. П. 185
Зюсс Эдуард 6, 311, 380

Ирдли А. 208
Ильин А. В. 406, 407

Казаков М. П. 103
Калицкий К. П. 433
Карпинский А. П. 6, 85, 304, 380
Келлер Б. М. 146, 250, 300, 301, 305
Кери С. У. 178, 416
Кинг Ф. 206
Кириллов И. В. 416, 417
Кириллова Г. Л. 196
Кицул В. И. 254
Клоос Г. 122
Книппер А. Л. 348, 354
Кобер Л. 174, 227, 244, 314
Кнотт К. 283
Комлев Р. В. 265
Копничев Ю. Ф. 288
Коттон Л. 283
Коровин М. К. 319, 320
Коржинский Д. С. 148
Красильников Б. М. 10
Краус Э. 392
Крейсгауэр Д. 385
Кренкель Э. 314
Криштофович А. Н. 8
Кропоткин П. Н. 282, 284, 388, 408
Крутков Ю. 268
Крылова М. Д. 98
Кузнецов Ю. А. 118, 119, 140, 144, 148, 149
Кузьмин А. М. 295
Кухтиков М. М. 378, 379
Кэй М. 165, 166, 183, 197

Ламакин В. В. 283, 285
Ламберт С. Д. 264
Ларин В. А. 425—428
Левинсон-Лессинг Ф. Ю. 139
Лебедева М. Б. 113
Линда П. 268
Лисицын А. П. 196
Лисс Д. М. 279
Личков Б. Л. 49, 54, 383
Лонгвелл К. Р. 7
Лук А. А. 371
Лукашевич И. Д. 63
Лычагин Г. А. 113
Льотенгольц-Фригольберг К. Ф. 385

Магницкий В. А. 103, 123, 210, 213, 368
Марков М. С. 213, 226—228, 354
Маскелайн У. Г. 336
Маслов Л. А. 285, 353
Масуренков Ю. П. 128
Матвеевская А. Л. 242, 255
Мельников Н. В. 123
Менард Г. У. 200, 223
Меннер В. В. 388
Мефферт Б. Ф. 125
Мещеряков Ю. А. 277, 278
Милановский Е. В. 244
Милановский Е. Е. 362, 411—413, 415, 416
Микшиен У. 348
Монтессю де Баллор 277
Морган В. 397, 398, 420, 421
Мосаковский А. А. 209
Мотлев А. Е. 143
Мохоровичич М. 332

Муди Д. 92
Муратов М. В. 165, 166, 252, 313, 314
Мурбат С. 252
Мясников В. П. 262, 362, 364, 366, 375, 380, 381, 421, 428

Наливкин Д. В. 99, 300
Нарликар Дж. 270, 272
Нейман В. Б. 416, 417
Неймайр М. 5
Нерсесов Л. Л. 371
Нестеренко Н. Г. 283
Николаев Н. И. 8, 276, 277
Николаевский В. Н. 285
Новикова А. С. 187
Ньютон И. 336

Обручев В. А. 415
Обуэн Ж. 8
Овчинников Л. Н. 220
Ог Э. 33, 104, 305

Павлов Н. В. 128
Павловский Е. В. 184, 186, 388
Парфенов Л. М. 10, 242
Пейве А. В. 85, 86, 347—350, 382
Перре А. 283
Пилланс Э. 268
Пишон К. 406, 418
Плюснин К. П. 98
Поляков Г. В. 149
Поникаров В. П. 185
Попов В. И. 306, 317
Пущаровский Ю. М. 202, 392, 393

Рама Марти В. 262
Ранкорн С. 288, 392
Резанов И. А. 355—357
Родес Л. 283
Родо Р. 337
Рож Э. 337
Розанов Л. Н. 103
Ронов А. Б. 68, 297
Ростовцев Н. Н. 317
Руженцев В. Е. 185
Ручкин Г. В. 432
Рухин Л. Б. 144

Салин Ю. С. 10, 61
Севергин В. М. 139
Синягина М. Н. 277, 278
Синюков В. И. 285
Слободской Р. М. 121, 127
Смирнов А. М. 361
Смирнов Я. Г. 402
Смит В. 5
Смит Д. В. 56, 261
Соболевская В. Н. 9, 179, 188
Соколов В. А. 134
Соловьева И. А. 201, 202, 345, 370, 371
Солоненко В. П. 281
Сорохтин О. Г. 366, 392
Старик И. Е. 265
Степанов П. И. 309
Стовас М. В. 283
Страхов Н. М. 222, 224, 225, 300, 307, 317, 318
Струве О. 268
Стэли Ф. 92
Суворов А. И. 334, 362, 421—424

Тайк П. 337
Тамразян Г. П. 283
Тараканов Р. З. 333, 371, 408
Тарасов А. В. 110
Татаринов П. М. 140
Тейлор И. Ф. 383, 385
Тетяев М. М. 34, 312
Тимофеев В. А. 8
Томпсон У. 337
Томс Е. 386
Трапезников Ю. А. 284, 417
Тугаринов А. И. 265
Туголесов Д. Н. 9

Удинцев Г. Б. 401, 402
Уиллис Б. 309
Уилсон Дж. 394
Уиндли Б. Ф. 240, 252
Усов М. А. 100, 317—319, 415
Устиев Е. К. 140
Устрицкий В. И. 92
Уфлянд А. К. 185
Ушаков С. А. 392

Фадеев В. Е. 362, 364, 366, 375, 428

Федоровский В. Ф. 252, 254
Федотов В. Ф. 241
Фен А. 387
Филатова Н. И. 134
Флоренсов Н. А. 281
Фор-Мюре А. 8
Фридман А. 268
Фролова Н. В. 226

Хаарман Э. 383
*Хаббл Э.* 269
Хаин В. Е. 9, 317, 382
Хворова И. В. 144
Херасков Н. П. 86, 139, 141, 144, 307, 388
Хесс Г. 352
Хизен Б. 416
Хилл М. 92
*Хильгенберг О. С.* 416
Хоббс У. 85
Ходж П. 268
Хойл Ф. 424
Холл Д. 33, 381
Холмс А. 392

Чень-Года 193
Черкасов Р. Ф. 248
Чиков Б. М. 242, 255
Чудинов Ю. В. 419

Шатский Н. С. 7, 35, 67, 85, 86, 90, 91, 99, 141, 145, 146, 153, 164, 166, 177, 178, 184, 251, 300, 303, 305, 306, 311, 314, 316—321, 382, 388, 390, 400, 412
Шевалдин Ю. В. 406
Шейнманн Ю. М. 34, 156, 244
Шемякин Е. И. 286
Широков В. А. 284
Шоу Д. М. 262, 263
Штауб Р. 387, 399, 412
*Штейнман Г.* 349
Штилле Г. 6, 91, 92, 165, 169, 171, 172, 174, 205, 208, 219, 221, 224, 235, 248, 296, 299, 305—307, 312, 315, 320, 349, 381, 412
Штрейс Н. А. 171, 172
Шубер Ю. 8
Шульц С. С. 6, 92, 294

Эгьед Л. 416
Эйнштейн А. 62, 268
Эли де Бомон Ж. 5, 6, 306, 311, 380

Яншин А. Л. 34, 67, 103, 182, 188, 301, 320, 321

# ОГЛАВЛЕНИЕ

**Предисловие** . . . . . 3

**Глава I**
**Вопросы методологии**

Основные черты развития тектонической мысли . . . . . 5
Термины и системы понятий . . . . . 7
Геологическое пространство . . . . . 11
Геологические границы . . . . . 14
Геологические тела . . . . . 19
Геологические структуры (геометрическая характеристика) . . . . . 24
Принципы выделения структурных элементов в связи с тектоническим картированием . . . . . 27
Системный подход к решению геологических вопросов. Ретроспективные реконструкции . . . . . 37
Зет-система . . . . . 42
Уровни организации и общие соображения о геологической структуре . . 46
Основные атрибуты планетарного уровня организации вещества . . . . . 49
Континуумы . . . . . 51
Глубинная тектоника . . . . . 53
*Гипотезы* . . . . . 53
Диапазон методологических подходов . . . . . 56

**Глава II**
**Слоистая структура и ее дислокации**

Характеристика слоистых толщ . . . . . 57
Проблемы времени в геологии . . . . . 61
Метрика геологического времени . . . . . 63
Фации. Генетические характеристики . . . . . 64
Мощность слоев . . . . . 65
Согласное и несогласное залегание слоев . . . . . 68
Слоистая структура, возникающая вследствие гравитационной дифференциации вещества при застывании плутонов . . . . . 71
Дислокации слоистой структуры . . . . . 72
Дизъюнктивные дислокации . . . . . 75
Трещиноватость . . . . . 76
Дизъюнктивные дислокации со смещениями . . . . . 78
Оползневые дислокации . . . . . 80
Системы дизъюнктивных дислокаций . . . . . 81
Разломы и зоны разломов как геологические тела . . . . . 85
Глубинные разломы . . . . . 85
Планетарная трещиноватость и планетарная система разломов . . . . 90
Пликативные дислокации . . . . . 94
Складки, связанные с разломами . . . . . 95
Особые виды складок . . . . . 97
Складки платформенного типа . . . . . 99
Системы складок . . . . . 99
Размещение складок и их связь с вмещающими структурными формами и строением фундамента . . . . . 101
Изменение мощностей и фациальных характеристик слоев в складчатой структуре . . . . . 104
О механизме образования складок . . . . . 108
Инъективные дислокации . . . . . 110
Диапировые складки, соляная и гипсовая тектоника . . . . . 112
Дислокации флюидного происхождения . . . . . 116

Магматические дислокации . . . 118
Нептунические (кластические) дайки . . . 129
Опыт классификации . . . 131
Кольцевые структуры . . . 134

## Глава III
## Тектоника континентов и океанов

Геологические формации . . . 138
Выделение формаций и их состав . . . 141
*Парагенетические ряды* . . . 145
Осадочные формации и их ряды . . . 146
Магматические формации и их группировки . . . 147
Метаморфические формации . . . 150
Тектоническое картирование . . . 150
Континентальные и океанические, геосинклинальные и платформенные области 156
О возможности выделения других структурных элементов гипергенной оболочки . . . 157
Структурные этажи . . . 159
Разделение геосинклинальных и платформенных областей по возрасту и по степени консолидации . . . 160
Области геосинклинального строения . . . 162
Геосинклинальные системы . . . 164
Эпикратонные геосинклинальные области . . . 166
Представление о развитии геосинклинальных областей . . . 167
Платформенные области . . . 177
Фундаменты древних платформ . . . 178
Генетические и морфологические отличия молодых платформ от древних 180
Основные тектонические формы в чехлах платформ . . . 182
Краевые прогибы и краевые системы . . . 184
Некоторые особенности развития чехлов платформ . . . 186
Вулканические пояса . . . 189
Внутриконтинентальные впадины и сводовые (эвгимнические) поднятия . . 190
Океанические области . . . 194
Тектоника океанического дна . . . 194
О возможности преобразования гипергенной оболочки океанического типа и о тектоническом положении островных систем . . . 204
Основные тектонические проблемы геологии океана . . . 210
Развитие структуры гипергенной оболочки . . . 220

## Глава IV
## Тектоника докембрия

Метод актуализма . . . 240
Структурные элементы докембрия . . . 242
Объем раннего докембрия . . . 257
Пути исследования структуры докембрийских толщ, залегающих на больших глубинах . . . 258
О связи флюидных и биогенных включений с тектоникой раннего докембрия 259
Гипотезы о ранней истории Земли . . . 261

## Глава V
## Динамическая тектоника

Наблюдаемые (современные) движения земной поверхности . . . 274
Роль космических воздействий . . . 283
Новейшие тектонические движения, создавшие основные черты современного рельефа . . . 289
Реконструкция тектонических движений геологического прошлого . . . 294
Анализ мощностей и фаций . . . 297
Отраженные глубинные движения . . . 302
Реконструкция горизонтальных движений . . . 307
О терминологии тектонических движений . . . 310
О темпе и периодичности тектонических движений геологического прошлого 314

## Глава VI
## Глубинная тектоника


Сферически-симметрические модели Земли . . . . . 331
Неоднородности низов земной коры и верхней мантии . . . . . 339
Геолого-геофизические проблемы низов земной коры и верхней мантии . . 345
Подошва гипергенной оболочки и офиолиты . . . . . 346
Тектоническое расслоение литосферы . . . . . 353
Геофизическая характеристика . . . . . 355
Петрографический аспект проблемы . . . . . 358
Геотектонические гипотезы . . . . . 362
*Гипотеза эволюции Земли В. П. Мясникова и В. Е. Фадеева* . . . . . 362
Геодинамическая гипотеза Е. В. Артюшкова . . . . . 366
Старая глобальная тектоника . . . . . 380
Концепция тектоники литосферных плит . . . . . 390
*Пульсационная гипотеза Е. Е. Милановского* . . . . . 411
Гипотеза расширяющейся Земли . . . . . 416
Геотектоническая гипотеза А. И. Суворова . . . . . 421
Гипотеза изначально-гидридной Земли В. Н. Ларина . . . . . 424

**Заключение** . . . . . 431

**Список литературы** . . . . . 435

**Указатели:**

Предметный . . . . . 437
Авторский . . . . . 456

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

**Косыгин Юрий Александрович**

**ТЕКТОНИКА**

*Редактор издательства Т. А. Горохова*
*Художественный редактор Г. Н. Юрчевская*
*Переплет художника В. В. Евдокимова*
*Технические редакторы Л. Н. Шиманова, Л. А. Мурашова*
*Корректор И. П. Розанова*

ИБ № 7150

Сдано в набор 24.06.87. Подписано в печать 21.10.87. Т-02091. Формат 60×90¹/₁₆. Бумага типографская № 1. *Гарнитура Литературная. Печать высокая. Усл.-печ. л.* 29,0. *Усл. кр.-отт.* 29,25. Уч.-изд. л. 34,13. Тираж 4440 экз. Заказ 2230/1186—1. Цена 4 р. 90 к.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра», 125047, Москва, площадь Белорусского вокзала, 3

Ленинградская типография № 4 ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 191126, Ленинград, Социалистическая ул., 14.

# ВНИМАНИЮ СПЕЦИАЛИСТОВ!

**Издательство «Недра»**
**готовит к выпуску**
**в 1989 году**
**новые книги**

---

ПАВЛИНОВ В. Н.

## СТРУКТУРНАЯ ГЕОЛОГИЯ И ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТИРОВАНИЕ С ОСНОВАМИ ГЕОТЕКТОНИКИ

Часть 2

ОСНОВЫ ОБЩЕЙ ГЕОТЕКТОНИКИ И МЕТОДЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ

Учеб. пособие для вузов 25 л., 1 р. 20 к.

Охарактеризованы строение и образование тел Солнечной системы и эволюция нашей планеты, возраст формирования различных структурных элементов земной коры, с которыми связаны разнообразные полезные ископаемые. При описании развития земной коры и глубоких сфер Земли дан сравнительный анализ позиций фиксизма и мобилизма, не отрицающих и роль движения литосферных плит, как одной из прогрессивных идей, характеризующих современный уровень научно-технического прогресса в геологии. Рассмотрены методы организации и проведения геологического картирования. Подчеркнута важность применения группового, глубинного и объемного методов картирования с применением современных комплексных съемок.

Для студентов геологических специальностей вузов, изучающих структурную геологию.

*План 1989 г., № 57.*

*Интересующие Вас книги можно заказать в магазинах книготорга, распространяющих научно-техническую литературу, и в магазинах — опорных пунктах издательства «Недра», адреса которых приведены в аннотированном плане, а также через отдел «Книга — почтой» (г. Ленинград, магазин № 17).*

*Адреса центральных магазинов:*

*№ 115—117334, Москва, Ленинский проспект, 40. Дом научно-технической книги;*

*№ 17—199178, Ленинград, В. О., Средний проспект, 61*

*ИЗДАТЕЛЬСТВО «НЕДРА»*

5107