

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ПРОБЛЕМЫ ВРЕМЕНИ В ГЕОЛОГИИ

Владивосток
1979

Сборник посвящен актуальным проблемам истолкования времени и использования связанных со временем понятий в геологии. Изложены различные подходы к решению общетеоретических аспектов проблемы, рассмотрено их влияние на построение временных геологических характеристик и на конкретное применение этих характеристик в практике стратиграфических исследований докембрия и фанерозоя.

The collection of papers is devoted to time and related concepts in geology. It aims to exhibit various approaches to the general theoretical aspects of the time problem and their impact on obtaining temporal geological characteristics. Besides the practical use of temporal characteristics in Precambrian and Phanerozoic stratigraphy is discussed.

*Издано по решению
Редакционно-издательского совета
Дальневосточного научного центра АН СССР*

Ответственные редакторы В. Н. Шульдинер, В. А. Красилов

ПРЕДИСЛОВИЕ

На вопрос «сколько времени?» какой-то прохожий ответил: «Это слишком сложный философский вопрос, я затрудняюсь дать определенный ответ». Прохожий был, наверно, человеком неординарным: ведь, как правило, мы довольствуемся обиходным представлением о времени, близким к ньютоновской концепции абсолютного математического времени. Довольствовались им и геологи. Изменение представлений о природе времени, происшедшее в физике в первые десятилетия XX в., почти не отразилось на геологии — науке, больше других имеющей дело со временем. Лишь в последние годы, когда международная корреляция геологических событий стала насущной задачей, усилился интерес к определению одновременности и вообще к проблеме времени в геологии. В нашей стране и за рубежом вышло несколько изданий, специально посвященных геологическому времени. Эта проблема разрабатывается и в Дальневосточном научном центре АН СССР.

В 1977 г. во Владивостоке состоялся двухдневный семинар, посвященный проблемам времени в геологии. Заслушанные на семинаре доклады, дополненные некоторыми новыми материалами, составляют содержание публикуемого сборника. В нем нашли отражение взгляды дальневосточных ученых, представляющих в основном различные институты Дальневосточного научного центра АН СССР: Дальневосточный геологический, Биолого-почвенный и Институт биологии моря (Владивосток), Институт тектоники и геофизики (Хабаровск), Северо-Восточный комплексный НИИ (Магадан). В сборнике принимают участие и авторы из ВСЕГЕИ (Ленинград).

Специфика геологического времени, методы его познания и отражения в геологических науках — главные вопросы, обсуждаемые в статьях сборника. Одной из ведущих прикладных задач семинара был поиск путей дальнейшего совершенствования геохронологических шкал — главного инструмента геологов в исследовании времени. Эта задача приобретает все большее значение в связи с растущим разнообразием способов изучения временных характеристик геологических объектов и необходимостью адекватного соотношения этих характеристик. Особую остроту получил вопрос о соотношениях геохронологических шкал фанерозоя и докембрия и о принципах построения шкалы докембрия.

В публикуемых материалах читатель найдет различные, частично взаимоисключающие, подходы к решению затронутых проблем. Не все развиваемые положения достаточно аргументированы. Редакторы, однако, не сочли возможным или нужным вносить в представленные работы какие-либо коррективы, полагая, что объективная картина противоречивости взглядов на проблемы геологического времени и суждений о них даст правильное представление о сложности этих проблем и их все еще недостаточной изученности, требующей дальнейших разработок.

К ПРОБЛЕМАМ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ВРЕМЕНИ

Время, начиная со Стено, всегда привлекало внимание геологов, ибо без учета времени невозможна реконструкция прошлого, познание современных геологических процессов и предсказание будущих (землетрясения, вулканические извержения и т. д.). Впервые общие проблемы геологического времени широко рассмотрел В. И. Вернадский (1975). Особенно повысился интерес к этим вопросам в последние годы (публикации В. И. Драгунова, В. А. Зубакова, Ю. А. Косыгина, В. А. Красилова, И. В. Крутя, С. В. Мейена, Ю. С. Салина, К. В. Симанова, Б. С. Соколова, В. А. Соловьева и др.).

Сложность изучения геологического времени прежде всего связана с отсутствием хорошо разработанной общей теории времени, в частности с недостаточной определенностью самого понятия, — за время нередко принимают его меру. От Платона и Аристотеля до наших дней на вопрос «что такое время?» дают разные ответы. Природа пространства и времени до сих пор остается предметом горячих дискуссий.

Время и его виды

Определить термин «время» трудно из-за фундаментальности заключенного в нем понятия. В предлагаемой статье время понимается как категория, обозначающая определенный тип отношений. В первом приближении время есть структура (качественная сторона) и длительность (количественная сторона) процесса, тогда как пространство — структура и протяженность состояния. Процесс — изменение состояния объекта, состояние — сохранение свойств последнего. Элементом процесса выступает событие, которое в свою очередь является процессом, представленным событиями более низкого ранга. События I ранга — зарождение и исчезновение объекта (им соответствуют временные границы, определяющие временное существование объекта); события II ранга — границы состояний, т. е. стадий развития объекта, III ранга — субстадий и т. д. События чередуются с «межсобытиями» (стадиями развития). В понятии «событие» мы абстрагируемся от представления о не-

изменности объекта, в понятии «межсобытие» — о его изменении. В действительности же любое событие состоит из событий и «межсобытий» подчиненного ранга.

Быть может, более понятны определения Лейбница, который одним из первых указал на релятивную природу времени и пространства: время — порядок последовательности событий, совокупность отношений длительности сменяющих друг друга состояний; пространство — порядок сосуществования и взаимного расположения тел, совокупность отношений множества сосуществующих объектов, взаимно ограничивающих и продолжающих друг друга (Мслюхин, 1966). Однако определение времени Лейбницем также не лишено дефектов, которые иногда пытаются преодолеть (например, Аугустынек, 1973).

Время и пространство существуют независимо лишь в абстракции. В действительности они взаимосвязаны: имеется пространственное (спациальное) время, или временное (темпоральное) пространство, или неразрывное единство «пространство — время».

Материальные носители времени прерывно-непрерывны, поэтому то же свойство можно приписать и времени (пространству — времени), которое не существует в материальном мире без своего носителя.

Противоположное понимание пространства и времени, родоначальником которого в классической науке считается Ньютон, базируется на их абсолютизации. До сих пор довольно часто говорят о существовании в пространстве, о движении во времени и т. д., впрочем нередко вследствие слабой разработанности терминологии в концепции релятивного пространства и времени.

При связанном с ньютоновской традицией подходе ко времени оно однотипно и нет смысла выделять какое-то геологическое время. Этот термин обычно употребляется лишь для обозначения реконструируемого времени в отличие от наблюдаемого — физического времени. Такое употребление термина нерационально, ибо в современных геологических процессах время наблюдается, а физика занимается и реконструкцией времени (например, астрофизика при исследовании проблемы происхождения мироздания). Видимо, более правомерно говорить о несуществующем времени, в том числе о будущем и прошлом (существовавшем) времени, различая для прошлого реконструируемое и нереконструируемое время, для настоящего — наблюдаемое и ненаблюдаемое.

В соответствии с концепцией релятивного времени и пространства говорят о биологическом, геологическом, астрономическом, микрофизическом и другом времени, ибо объекты этих наук, принадлежа к разным уровням организации материи, существенно различаются. В таком случае геологическое

время — это время, присущее геологическому веществу, т. е. веществу на уровнях организации от минералов до планет земного типа.

Собственное время объекта, характеризующее его структуру и длительность превращений, может быть измерено как в собственных единицах, так и в необходимых для сопоставления объектов разных классов единицах несобственного времени. Например, в геологии эра, период, эпоха и др. — единицы собственного времени, а год — единица астрономического времени, применяемая главным образом при радиологическом датировании геологических тел.

Внешние перемещения объекта не отражают его собственного времени, однако в случае периодичности такие движения могут быть использованы в качестве эталона для измерения времени, в том числе собственного. Иными словами, изменение познается через сохранение (периодичность). В геологии наиболее распространенные «часы» — последовательности стратонов одного ранга, которые в свою очередь состоят из последовательностей стратонов подчиненного ранга и т. д. (стратиграфические шкалы). С помощью таких «часов» выявляется неповторимость разновозрастных тел одного класса, т. е. геологическая эволюция.

Стратиграфия

Стратиграфия — основная наука о геологическом времени. Ее объект — наслоения, супракристалльные образования земной коры (точнее, коры планет земного типа). Как отмечают некоторые стратиграфы (Мейен, 1974б; и др.), объектом стратиграфии могут стать и интракристалльные образования, для изучения которых стратиграфии придется видоизменить свои основные принципы.

Предмет стратиграфии — исследование наслоенных тел в хронологическом аспекте. Задачи — стратиграфическое расчленение и стратиграфическая корреляция. Цель (конечная задача) — создание стратиграфических шкал разного латерального ранга (от локальных до глобальных), с помощью которых можно было бы определить стратиграфический возраст основной массы тел, заключенных в стратисфере.

Хронологическая сущность стратиграфии проявилась в момент ее зарождения 300 лет назад, когда Стено сформулировал в первом приближении основной принцип, посящий ныне его имя. Наиболее явно эта сущность отражена в «европейской» точке зрения на предмет стратиграфии. «Американская» точка зрения значительно расширила такой подход за счет литологического, петрологического, структурно-геологического и других аспектов, допустив выделение стратонов без учета их хронологического содержания. Однако, как показал С. В. Мей-

ен (1974а), подобное толкование есть результат непоследовательности: понятие времени незримо присутствует и в тех типах стратон, для которых провозглашалась свобода от временных отношений горных пород (поэтому хроностратиграфия — излишний синоним стратиграфии).

Появление «американской» точки зрения — следствие нечеткого разграничения объекта и предмета стратиграфии. Объект стратиграфии — общий с другими геологическими науками, но ее предмет и цель вполне самостоятельны. Поэтому стратиграфия не дублирует другие науки, хотя и использует понятия и классификации многих наук (литологии, петрологии, вулканологии, формациологии, мипералогии, геохимии и др.), не являясь в них законодательницей. Аналогично другие геологические науки не создают, но используют стратиграфические шкалы.

Следует заметить, что в единичных случаях писали и о «невременной» стратиграфии. Например, по Дж. М. Уэллеру (Weller, 1966), стратиграфия имеет дело с пространственными, а не временными отношениями. Видимо, это результат терминологической путаницы; хронологическая суть стратиграфии отражена в известных решениях Международного геологического конгресса, и хронологический смысл принятой им международной стратиграфической шкалы очевиден.

Основой хронологической шкалы является стратон — тело, ограниченное разновозрастными вторичными изохронами, точнее границами, которые интерпретируются как изохронные. Необходимо различать наблюдаемое тело и тело с реконструированными границами. Следы бывших изменений стратисферы запечатлены в ее пространственной структуре, используемой для реконструкции времени. Границы стратон — следы событий, сами стратоны — следы состояний (обстановок), устанавливаемых по тем или иным признакам. Вторичные изохроны не являются границами стратон. Например, поверхности угловых несогласий не могут быть стратиграфической кровлей; не являются стратиграфическими границами и метаморфические изограды.

Стратоны выделяют по разным признакам (и разными методами): по геологическим — геостратоны (литостратоны, петростратоны, тефростратоны, ритмостратоны, тектоностратоны и др.), по негеологическим — биостратоны, радиостратоны (нуклеостратоны), магнитостратоны, педостратоны и др. Но все они прежде всего стратоны, особые геологические тела, и в этом отношении они равноправны (когда некоторые биостратиграфы исключают литостратоны из числа стратиграфических подразделений, то при этом забывается, что биофоссилии не висят в воздухе, что их последовательность («выше — ниже» и «древнее — моложе») первоначально доказывалась последовательностью геологических слоев). Поэтому стратиграфия — единая наука, и биостратиграфия, литостратиграфия, радиостратиграфия и

т. д. — только ее разновидности. Появление этих разделов вызвано тем, что разные части стратисферы (а также разные регионы) существенно различаются по наличию в них однокачественных признаков и по их стратиграфической значимости (весу).

При выделении стратонов и построении шкал стремятся к комплексированию разнокачественных признаков, ибо комплексные (общие) шкалы имеют преимущество перед специальными (частными). При этом ведущим признаком выступает имеющий больший вес (так, международная стратиграфическая шкала является в основном биостратиграфической, шкала четвертичной системы — климатостратиграфической).

Среди стратонов различают «картируемые» (местные, отчасти региональные) и «корреляционные» (региональные, межрегиональные, глобальные), объединяющие «картируемые» стратоны. При выделении и прослеживании первых обычно существенная роль принадлежит геологическим признакам (принимем, как правило, указывается вещественный состав на уровне пород, формаций и т. д.), вторых — негеологическим (вещественный состав обычно не указывается ввиду сложной латеральной изменчивости состава этих стратонов, но может быть раскрыт в описаниях схем корреляции «картируемых» подразделений).

Стратиграф решает специфические задачи: а) различает изохронные и диахронные тела, причем если выявляется существенная диахронность стратона, он теряет свой статус; б) выделяет стратоны так, чтобы они были изохронными, максимально протяженными и в то же время однозначно и по возможности легко распознаваемыми. Перед специалистами других геологических наук такие задачи не стоят. Поэтому стратоны далеко не всегда совпадают с нестратиграфическими телами. К сожалению, соотношения стратонов с нестратиграфическими телами часто не отражаются на геологических картах, почему они в значительной мере утрачивают комплексный характер.

Для решения задач стратиграфии используют два десятка различных принципов («законов», «аксиом») (Стратиграфия и математика, 1974). Между тем для этого, как показал С. В. Мейен (1974б), необходимы и достаточны три принципа (остальные являются производными): 1) принцип Стено — для установления временных отношений тел «раньше» и «позже»); 2) принцип Гексли для корреляции идентичных последовательностей признаков (стратонов); 3) принцип «хронологической взаимозаменяемости признаков» по латерали — для корреляции неидентичных последовательностей признаков. Принцип Гексли является, по всей вероятности, частным, предельным случаем третьего принципа, который можно называть принципом Грессли.

В геологии можно различать четыре класса времени: 1) от-

дельное, которое соответствует какому-то отдельному (вне шкалы) геохронологическому подразделению; 2) порядковое (ординальное), которое соответствует геохронологическому подразделению в шкале; 3) численно-порядковое (ординально-метрическое) — порядковое время, длительность которого охарактеризована численно; 4) численное (метрическое).

Стратиграфическое время может представлять только первые три класса времени. Среди стратиграфических (внутренних) шкал различаются порядковые (например, международная стратиграфическая шкала) и численно-порядковые (например, шкала А. П. Павлова, в которой стратоны международной стратиграфической шкалы исчислены геологическим методом; шкала А. Холмса, в которой те же стратоны исчислены радиологическим методом). Предпринимаются попытки упорядочить ранги стратонів международной и региональной стратиграфических шкал в зависимости от определенной радиологическим методом длительности их накопления (например, Меншер, 1977).

Численное время — это время внешней шкалы, независимой от геологических тел (т. е. нестратиграфической и негеологической), к которой могут привязываться стратоны и другие тела. Например, Л. И. Боровиков и Т. П. Спизарский (1965) предложили для докембрия хронологическую шкалу с единицей 500 млн. лет, С. Голдич (Goldich, 1968) — более дробную шкалу. На необходимость создания метрических шкал указывали в последнее время Ч. Б. Борукаев, В. И. Шульдинер и др.

Геохронология

Стратиграфия исследует только главную часть геологического времени. Она не занимается изучением хронологических отношений минералов, внутрипородных слоев и прочих текстурных компонентов, интракрустальных тел разных уровней организации, паложенных пликтивных и дизъюнктивных структур разного ранга. Хронологические отношения различных геосфер также не могут быть предметом ее исследования.

Общая наука о геологическом времени и его носителях, включающая стратиграфию и другие частные хронологические науки, синтезирующая их результаты, находится еще в эмбриональном состоянии. Ее, по-видимому, правомерно называть геохронологией. Близость геохронологии к стратиграфии отмечали неоднократно, в некоторых случаях эти названия даже считали синонимами. В последние годы геохронологию иногда называют учением о геологическом времени в целом (Круть, 1974) или учением о реальном геологическом времени (Симаков, Оноприенко, 1975).

Проблема упорядочения местных стратонів

Уже не раз отмечалось (Стратиграфия и математика, 1974; Гуарри, 1969), что определения местных стратонів разного ран-

га сформулированы столь неотчетливо, что они по существу не отличимы друг от друга (например, свита и пласт, свита и серия, свита, подсвита и пачка). Упорядочить ранжирование местных стратонов позволяет концепция уровней организации геологического вещества, которая интенсивно разрабатывается в последние годы. В таблице дана предварительная схема сопоставления уровней организации и стратонов. При ее составлении по возможности учитывалось наиболее распространенное применение терминов и их иерархия в официальных положениях Межведомственного стратиграфического комитета, хотя, разумеется, соответствие уровней тел и стратонов не может быть всегда полным, ибо они выделяются с разными целями (например, маркирующие границы и горизонты, по которым нередко ограничены местные стратоны, могут не совпадать с границами уровней тел). Тем не менее представляется целесообразным придавать стратоном ранг с учетом их близости или пространственного совпадения на стратотипе с телами определенного уровня организации. Такой подход развивается и в ритмостратиграфии. А. И. В. Круть (1973) подчеркивает, что стратоны принадлежат особым стратиграфическим уровням организации.

Уровни организации вещества *	Стратоны	
8. Пластина	Стратисфера	Субстратисфера
7. Геосфера	Комплекс	Подкомплекс
6. Формационный комплекс	Серия	Подсерия
5. Формационный ряд	Свита	Подсвита
4. Формация	Пачка	Пакет (подпачка)
3. Субформация	Слой	Прослой
2. Порода		
1. Миперал		

* Уровни организации даны по статье Ю. А. Косыгина и др. (1972), в которой отмечается временной статус названий «формационный ряд», «формационный комплекс», так же надо рассматривать название «субформация», соответствующее парагенерации В. И. Драгунова.

Проблема древнейших толщ

Успехи биостратиграфии привели в известной мере к заблуждению геологических методов корреляции, в связи с чем они почти не развивались. Между тем для дорифея биостратиграфические методы, как известно, не применимы, поэтому большие надежды возлагались на радиологические методы. Однако и эти надежды, по крайней мере в отношении архейских толщ, пока не оправдались из-за нарушения изотопных соотношений. На большинстве щитов радиологические датировки нижнедокембрийских комплексов за последние 20 лет были существенно пе-

рассмотрены минимум 3—5 раз, и к настоящему времени на возраст древнейших серий почти каждого щита существует 3—4 точки зрения. Например, алданскую серию радиологи относят то к архею (Левченко и др., 1973; Смелов и др., 1975), то к протерозою (Тугаринов и др., 1976), то к архею (пизы) и протерозою (верхи) (Соботович и др., 1973). Поэтому неудивительно, что в последние годы усилился интерес к комплексным методам корреляции, учитывающим ряд геологических признаков и только реликтовые изотопные даты (Салоп, 1973).

На основе такого комплексного подхода при ведущем значении геологических методов возможно создание глобальной шкалы для архея, во всяком случае для нижнего архея (алдания). Объективные основания для такого заключения — специфические особенности алдания, рассмотренные на примере его стратотипического региона в ряде статей автора (1972, 1973, 1976, 1977а, б и др.). Эти особенности следующие.

1. Высокотемпературная прогрессивная метаморфическая зональность с шириной зон в первые сотни километров. Это основной диагностический и коррелятивный признак алдания; в более молодых, чем алданий, отложениях, начиная с верхнего архея, зональность на порядок уже. Широкая зональность связана с гигантскими размерами алданского вулканогенно-геосинклинального бассейна (панбассейн или по крайней мере мегабассейн). Не только метаморфические поверхности, но и зеркала складчатости (крылья синклиналиев и антиклиналий разного ранга) залегают здесь очень полого, угол их наклона на порядок меньше, чем у соответствующих границ в фанерозойских геосинклинально-складчатых областях.

Большая ширина метаморфических зон создает впечатление отсутствия зональности, что в свое время привело к идее о незональном метаморфизме и исключению из алдания пород, метаморфизованных в амфиболитовой фации.

2. Изохронность стратонев, границы которых совпадают с границами маркирующих горизонтов, насыщенных метакремнистыми породами (первично-карбонатными и кремнистыми). С помощью структурных методов доказано, что стратонев, выделенные по другим признакам, часто являются существенно диахронными.

3. Закономерная фаціальная изменчивость толщ (существование прототипических зон нескольких рангов). Раньше считали, что «картируемые» стратонев алдания не имеют фаціальных границ; сложноскладчатые структуры на границах крупных фаціальных зон принимали за моноклинали, что приводило к необоснованному наращиванию разреза, к дублированию в нем под разными названиями разнофаціальных, по разновозрастных толщ. С принятием модели фаціальной изменчивости древнейших отложений разновозрастные разнофаціальные свиты объ-

единяются в стратиграфические горизонты («гнейсово-кварцитовый» иенгрский, «гнейсовый» тимптонский, «мраморно-гнейсовый» джелтулинский, «гнейсовый» ылымахский). Горизонты залегают друг на друге согласно и закономерно, образуя мегаритм, во многом аналогичный типовому формационному ряду фанерозойских эвгеосинклипалей. В совокупности они составляют алданский надгоризонт (или группу алданий), который объединяет серии гигантских протофацциальных зон: Алданской, Становой и др. Алданий делится на нижний и верхний по подошве джелтулинского горизонта. Этот главнейший рубеж внутри алдания маскируется массовым появлением карбонатных пород и является устойчивой межрегиональной (по всей вероятности, глобальной) широко представленной на современном эрозионном срезе границей.

4. Алданий обладает и рядом других специфических признаков. К ним относятся, например, высокая симметрия (его протофацциальные зоны и складчатые структуры являются перекрестными, двулинейными, в то время как для геосинклипально-складчатых образований фанерозоя характерна линейность), отсутствие достоверных терригенных отложений (по крайней мере мощных) и явной диахронной миграционной слонстости. Видимо, геологическая эволюция вообще совершалась с понижением симметрии и нарастанием диахронии. В связи с этим перенос на алданий фанерозойских концепций приводит, как правило, к методологическим ошибкам, примером которых может служить некогда господствовавшее представление о линейности алданий.

ЛИТЕРАТУРА

- Аугустынек З. Лейбницево определение времени. — *Вопр. философии*, 1973, № 5, с. 109—121.
- Боровиков Л. И., Спижарский Т. Н. Принципы расчленения и корреляции докембрийских отложений. — *Геол. и геофиз.*, 1965, № 1, с. 21—29.
- Вернадский В. И. Размышления натуралиста. Пространство и время в неживой и живой природе. М., 1975. 175 с.
- Гурари Ф. Г. О правилах стратиграфической классификации. — В кн.: Проблемы стратиграфии. Новосибирск, 1969, с. 66—79.
- Косыгин Ю. А., Вотах О. А., Соловьев В. А., Черкасов Р. Ф. Иерархия геологических объектов и тектоника. — В кн.: Геология Дальнего Востока. Хабаровск, 1972, с. 5—10.
- Круть И. В. Исследование оснований теоретической геологии. М., 1973. 205 с.
- Круть И. В. К построению стратиграфической теории. — *Изв. АН СССР. Сер. геол.*, 1974, № 7, с. 38—49; № 8, с. 26—37.
- Левченко О. А., Герлинг Э. К., Михайлов Д. А., Овчинникова Г. В., Яковлева С. З., Искандерова А. Д. Новые данные по геохронологии кристаллических комплексов Алданского массива. — В кн.: Геол.-радиол. интерпретация несходящихся значений возраста. М., 1973, с. 151—165.
- Мейен С. В. Понятия «естественность» и «одновременность» в стратиграфии. — *Изв. АН СССР. Сер. геол.*, 1974а, № 1, с. 79—90.
- Мейен С. В. Введение в теорию стратиграфии. М., 1974б. 185 с. (Геол. ин-т АН СССР. Рукопись депонир. в ВИНТИ 25 июня 1974 г. № 1749—74. Дел.).

- Мелюхин С. Т.** Материя в ее единстве, бесконечности и развитии. М., 1966. 383 с.
- Меннер В. В.** Общая шкала стратиграфических подразделений.— Изв. АН СССР. Сер. геол., 1977, № 11, с. 8—15.
- Сагатовский В. П.** Основы систематизации всеобщих категорий. Томск, 1973. 431 с.
- Салоп Л. И.** Общая стратиграфическая шкала докембрия. Л., 1973. 309 с.
- Симаков К. В., Оноприенко В. И.** Проблема построения метрики времени в геологии: Препринт. Новосибирск, 1975. 31 с. (Библиотека конф. «Применение математических методов в ЭВМ при решении типовых геологических задач»).
- Смелов С. Б., Виноградов В. И., Лицарев М. А.** Новые данные о возрасте гранулитового метаморфизма желтулинской серии Алдана.— В кн.: Геохронология Восточно-Европейской платформы и сочленения Кавказско-Карпатской системы: Тез. докл. М., 1975, с. 77.
- Соботович Э. В., Шац М. М., Ловцюс А. В., Ремов А. Г., Рудник В. А., Терентьев В. М.** Распространенность изотопов свинца в породах Алданского кристаллического щита и их радиологическая интерпретация.— В кн.: Геол.-радиол. интерпретация несходящихся значений возраста. М., 1973, с. 165—186.
- Стратиграфия и математика.** Хабаровск, 1974. 203 с.
- Тугаринов А. И., Бибикова Е. В., Грачева Т. В., Ляликов А. В.** Проблема возраста иенгской серии Алданского щита.— ДАН СССР, 1976, т. 231, № 1, с. 169—172.
- Черкасов Р. Ф.** Проблема региональной метаморфической зональности алдания Южной Якутии.— В кн.: Обзорные карты и общие проблемы метаморфизма. Новосибирск, 1972, т. 1, с. 62—74.
- Черкасов Р. Ф.** Исследование складчатых ансамблей методом построения зеркал складчатости.— Геол. и геофиз., 1973, № 9, с. 15—22.
- Черкасов Р. Ф.** Проблемы симметрии архея Алдана.— В кн.: Симметрия структур геологических тел: Тез. докл. М., 1976, вып. 1, с. 86—88.
- Черкасов Р. Ф.** Два вида метаморфической зональности.— В кн.: Геология, тектонический режим и металлогения метаморфизма: Тез. докл. Свердловск, 1977а, вып. 1, с. 24.
- Черкасов Р. Ф.** Методика изучения архея (на примере алдания Южной Якутии).— В кн.: Принципы тектонического анализа. Владивосток, 1977б, с. 107—122.
- Goldich S. S.** Geochronology in the Lake Superior region.— *Canad. J. Earth Sci.*, 1968, vol. 5, N 3, pt 2, p. 715—724.
- Weller J. M.** Stratigraphic principles and practice. New York: Harper and Bros, 1966. 725 p.

ВРЕМЯ И СТРАТИГРАФИЯ

*Даже если остановить часы,
время все равно идет про себя.*

К а т я К.

Я думаю, что эпиграф — высказывание шестилетней девочки — вполне точно передает интуитивное представление о времени. Таким же оно было и в дни Гераклита. Время — это нечто такое, что существует само по себе и находится в непрерывном движении. Античный Хронос, смена времен года, течение реки — вот привычные персонификации времени. Не следует недооценивать интуитивные теории: ведь именно они служат отправным пунктом построения научной теории, которая в первом варианте, как правило, представляет собой более или менее удачную артикуляцию интуитивных представлений (Popper, 1972).

Ньютоном определено время как нечто такое, что само по себе, по своей природе течет равномерно, безотносительно к чему бы то ни было внешнему. Глагол «течет» наводит на мысль о реке, хотя Ньютон, возможно, имел в виду иной образ. Еще античные философы проводили аналогию между временем и пространством. Пространство представляли заполненным эфиром, за которым признавалась способность струиться, течь. Выражение «время течет» в формулировке Ньютона, вероятно, свидетельствует об аналогии с эфиром. Когда теория эфира была отвергнута, поколебались и основы ньютоновской теории времени, хотя ее интуитивный прототип сохранился в первоначальном виде.

В теории относительности принимается упорядоченность всех событий в четырехмерном пространственно-временном континууме. Время символизируют световые конусы Минковского. Временную упорядоченность чаще всего трактуют как отражение причинно-следственных отношений. Однако такой подход логически не безупречен (Whitrow, 1961; Мостепаненко, 1975) и ведет к циркулярности. Мы нередко постулируем причинно-следственные отношения на основе временных отношений (*post hoc ergo propter hoc*). Представление о линейном времени в физике ассоциируется с направленным процессом роста энтропии в замкнутых системах. Симметрия пространства и времени связывается с законами сохранения. Четырехмерная пространственно-временная модель пригодна для анализа уравнений движения системы (подобно тому, как птоломеевская геоцентрическая мо-

дель была удобна для определения географических координат при навигации), что, однако, не гарантирует ее соответствия реальным свойствам времени. По-видимому, справедливо замечание И. Пригожина, что «время выступает в полном значении в связи с необратимостью или даже с «историей», а не только как геометрический параметр движения» (Prigogine, 1978, с. 778). Геологическая летопись — последовательность слов, отражающая движение геологических систем (их изменение во времени), открывает исключительные, пока еще почти не реализованные возможности исследования свойств времени.

Геологическое время

В геологии относительным и абсолютным временем привыкли называть последовательность эволюционных событий и изменение длительности в годах. Ясно, что эти понятия не имеют отношения к эйнштейновской и ньютоновской концепциям времени. Некоторые стратиграфические кодексы рекомендуют не пользоваться термином «абсолютное время», чтобы избежать невольных ассоциаций с пьтоновским временем. Однако пьтоновское понимание времени ощущается не столько в терминологии, сколько в самом подходе многих стратиграфов к геохронологическим проблемам. Основной задачей геохронологии они считают выявление порядка исторических событий относительно последовательности точечных моментов времени, текущего независимо от чего-либо внешнего. Стратиграфическая корреляция понимается как реконструкция временных отношений путем соотнесения их с независимой шкалой времени. События признаются одновременными, если они находятся на одном делении шкалы. Однако по причинам, которые будут изложены ниже, возможность получения такой внешнеотсчетной шкалы кажется весьма проблематичной.

Более правомочной представляется реконструкция временных отношений путем сопоставления событий непосредственно друг с другом, а не с внешнеотсчетной шкалой. В ненарушенном геологическом разрезе временные отношения выводятся из пространственных взаимоотношений геологических тел (последовательности залегания, прорывания осадочных слоев интрузивами). Выявление временных отношений в пространственно разобитых разрезах (стратиграфическая корреляция) предполагает возможность опознания следов общей для них последовательности событий.

Наша способность различать временную последовательность событий развивается вместе с памятью, повторяет исторический процесс адаптации к временной упорядоченности среды и тесно связана с пониманием экстраординарности некоторых событий, служащих для нас маркерами времени. Я уже отмечал некото-

рые аналогии между геологической летописью и генетическим кодом (Красилов, 1977). В том и другом случае повторяющиеся элементы чередуются с уникальными, на которые падает основная смысловая нагрузка. В геологическом разрезе многократно повторяющиеся последовательности слоев отражают равновесное состояние среды осадконакопления, тогда как уникальные слои, т. е. слои с новыми признаками, свидетельствуют о поступательном движении. Если образование таких слоев связано с эволюцией тех или иных глобальных систем, то они в принципе могут быть опознаны во всех разрезах и могут служить естественными реперами геологического времени.

Ход геологического времени маркируют такие уникальные планетарные события, как образование литосферы, зарождение плитовой тектоники, появление биосферы и техносферы. Более дробные моменты соответствуют отдельным уникальным эпизодам эволюции всех этих планетарных систем. Таким образом, естественное членение геологического времени по эволюционным эпизодам, разделенным квазистатическими интервалами, предполагает иерархию одновременности. В первом приближении события рассматриваются как одновременные, если они принадлежат, например, мезозойской эре. Опускаясь по иерархической лестнице, мы последовательно считаем одновременными все юрские события, все лейасовые события, все синемюрские события. Общий подход к определению одновременности при этом не меняется: одновременность означает принадлежность одному и тому же естественному подразделению геологического времени.

Элементарная одновременность — это принадлежность одному слою. Правда, многие геологи, исходя из закона Головкинского — Вальтера, склонны рассматривать слои как диахронные образования. В действительности это правило справедливо лишь в том смысле, что для миграционного типа формирования слоистости характерна аналогия между горизонтальными и вертикальными рядами фаций — катенадами и скаладами, по Н. Б. Вассоевичу (1948). Вассоевич указывает, что «закон фаций» — это общая тенденция, всегда проявляющаяся с теми или иными отклонениями. Миграция фациальных зон носит скачкообразный характер и связана с существенным изменением среды осадконакопления. Иначе говоря, процесс миграционного слоеобразования неизбежно включает мутационные элементы. Возникающие при этом фациально эквивалентные разновозрастные образования распознаются как разные слои.

Все элементы слоя считают разновозрастными, исключая очевидные случаи переотложения или размыва. Однако в последнее время все больше внимания уделяется проблеме перемешивания осадков. Б. Гласс и Б. Хизеп (Glass, Heezen, 1976) исследовали дисперсию микротектитов (выпадающих при столкнове-

нии с кометой, в геологическом смысле, мгновенно) в глубоководных осадках и обнаружили, что переотложенные частицы размером около 200 мк встречаются в слое, отложившемся через 40—100 тыс. лет после микротектитового дождя. Приблизительно такие же пределы переотложения — несколько десятков сантиметров — установлены по нанофоссилиям (Foster, 1976). Перемешивание осадков вносит систематическое расхождение между хронологическим и стратиграфическим появлением (исчезновением) вида, которое невозможно не учитывать при детальном исследовании.

Сезонные хронометры

Естественными хронометрами служат сезонно стратифицированные осадки меромиктических озер (варвиты), слои прироста древесины и скелетных образований беспозвоночных (дендро- и склерохронометрия). Наиболее важным достижением склерохронометрии следует считать убедительные доказательства изменения скорости вращения Земли (Wells, 1963; Berry, Barker, 1968). Грубая интерполяция немногочисленных данных давала равномерное уменьшение скорости вращения в течение фанерозоя, однако в последнее время показано, что этот процесс носил прерывистый, скачкообразный характер (Panella, 1975; Kahn, Romera, 1978), отвечающий ходу тектонической и биологической эволюции.

Радиохронометрия

Радиохронометрический метод, на первый взгляд, дает совершенно независимую шкалу времени, к которой можно «привязать» все события геологической истории и таким образом выяснить их временную упорядоченность. Радиохронометрическая шкала в геологии выступает как символ ньютоновского абсолютного времени. Между тем давно замечено неслучайное распределение радиоизотопных датировок по геологическому разрезу. Калий-аргоновые датировки тяготеют к рубежам, отмеченным повышенной тектонической активностью. Л. И. Салоп (1963) объясняет это явление поднятием кристаллических пород выше критической изотермы. Неслучайное распределение радиоуглеродных датировок связано с климатическими циклами (Hillaire-Marcel, Occhietti, 1977).

Таким образом, радиометрическую шкалу не следует считать полностью независимой. Дж. О'Роукке (O'Rourke, 1976) пишет, что радиодата приобретает значение лишь в том случае, если известно, к какому геохронологическому подразделению она относится. Это утверждение не столько вскрывает циркулярность радиометрического метода, сколько показывает его

действительное значение в системе геохронологических исследований. Мы называем палеогеном не интервал радиометрической шкалы между датами 65 и 26 млн. лет, а этап геологической истории, одним из признаков которого служит то обстоятельство, что относящиеся к нему радиодаты чаще всего укладываются в интервал 65—25 млн. лет. Может показаться, что между этими двумя утверждениями нет такой уж большой разницы, но в действительности они отражают совершенно различную логику геохронологических исследований.

Радиохронометрия, как и новый метод, основанный на рацемизации аминокислот (Lee et al., 1976), полезна при определении длительности геохронологических подразделений, однако как методы корреляции они имеют подчищенное значение из-за малой разрешающей способности и необходимости калибровки. Так, калибровка радиоуглеродной шкалы по кольцам прироста калифорнийской сосны (4000 лет) заставила пересмотреть возраст древнейших сооружений Западной Европы (они оказались древнее аналогичных сооружений Египта и Восточного Средиземноморья, предполагаемых центров распространения металлургии) и вместе с ними все представления о развитии европейской цивилизации. Попытка ревизии биостратиграфической корреляции на основе калий-аргоновых датировок дает совершенно неприемлемые результаты (Berggren et al., 1978). В геологической истории интервал 80—70 Ма (в пределах позднемеловой эпохи) не эквивалентен интервалу 70—60 Ма (захватывает рубеж мела и палеогена) и практически одинаковые (в пределах ошибки метода) радиохронометрические даты могут относиться к разным палеобиосферам.

Палеомагнитная шкала

В палеомагнитной шкале спокойные интервалы перемежаются с нарушенными (где полярность часто меняется). Наиболее примечательная особенность шкалы заключается в том, что рубежам геохронологических периодов, как правило, соответствуют нарушенные интервалы. Так, один из нарушенных интервалов приходится на титон — готерив, следующий за ним — на поздний кампан — палеоцен (Irving, Pullaiah, 1976). Такое совпадение представляется вполне закономерным, если учесть не вызывающую сомнений связь палеомагнитных и тектонических перестроек (Апарин, Веденков, 1977). Частые инверсии магнитного поля — это одно из проявлений общей неустойчивости всех планетарных систем во время геобиологических революций. В спокойных интервалах сохраняется квазистатическое состояние геомагнитного поля. Преобладающая полярность спокойных интервалов (в мезозое преобладает нормальная полярность, в палеозое, начиная с позднего девона, — обратная) составля-

ет характерную черту фанерозойских эр и служит неожиданным (и тем более убедительным) свидетельством объективности их выделения.

Палеомагнитные эпизоды, как истинно планетарные события, маркируют изохронные уровни, которые можно использовать для калибровки лито-, био-, климатостратиграфических и других шкал. Однако корреляция отсчетом палеомагнитных эпизодов чревата ошибками (Kukla, Nakagawa, 1977), связанными главным образом с (систематически недоучитываемой) неполнотой разрезов и различиями в скорости осадконакопления. Поэтому заключение Р. Батлера и его соавторов (Buttler et al., 1977) о «запаздывании» вымирания динозавров на 0,5—1,5 млн. лет по отношению к границе мезозоя и кайнозоя в морском магнетостратотипе, по-видимому, преувеличивает возможности палеомагнитного метода.

Направленность тектогенеза, вулканических и метаморфических процессов как символ времени

Первые стратиграфические теории XVIII в. постулировали необратимое уменьшение складчатости и метаморфизма вверх по разрезу. В действительности направленный характер эволюции тектогенеза, вулканизма и метаморфизма отчетливо проявляется лишь на ранних стадиях развития литосферы. На первой стадии (4500—3500 Ма) происходило формирование гранитного слоя. В промежутке 3500—2600 Ма образовались зеленокаменные пояса. В конце этого этапа геосинклинальный процесс, по-видимому, уже мало отличался от современного. В 1976 г. Р. Харгейвс выдвинул предположение, что континенты могли подняться над уровнем моря лишь после того, как литосфера остыла, приблизительно 600—900 млн. лет назад. Эта теория получила довольно широкую поддержку, однако по седиментологическим признакам континенты несомненно существуют более 2000 Ма (Knoll, 1978). Около 2000 Ма литосфера уже была разбита на жесткие плиты и линейные подвижные пояса, земная кора достигла мощности, достаточной для горообразования. В мощном орогенезе на рубеже дейтерогея и неогей, 1700 Ма (по периодизации, предложенной Штилле), проявились все характерные черты фанерозойских орогенезов (Sutton, 1977; Windley, 1977a; Борукаев, 1977; Шульдинер, 1978). Офиолиты, маркирующие сутуры замкнувшихся бассейнов с океанической корой, появились в байкальскую фазу складчатости, на рубеже докембрия и фанерозоя. Они свидетельствуют о плитовой тектонике современного стиля. Уникальные черты архейского метаморфизма, возможно, объясняются более крутым, чем в наши дни, геотермическим градиентом (Burke, Kidd, 1978; Шульди-

пер, 1978). Этой гипотезе, однако, противоречат данные о значительной толщине земной коры в архее: 35—75 км (Windley, 1977b). В эоэе Алданского щита прослеживается ослабление метаморфизма и уменьшение содержания вулканогенных пород вверх по разрезу (Маракушев, 1969; Шульдинер, 1973).

Завершилась ли направленная эволюция этих систем на отмеченных выше рубежах? Многие авторы считают прогрессирующую континентализацию и кратонизацию коры сквозной чертой земной истории. По А. Б. Ронову (1978), от архея до современной эпохи происходит необратимое разрастание платформ за счет отмирания геосинклиналей. Соответственно снижается вулканическая активность и поступление углекислоты в атмосферу, гидросферу и биосферу. Этот процесс завершится панплатформенным режимом и гибелью биосферы. Однако в той же работе показано циклическое изменение интенсивности фанерозойского вулканизма (с пиками в девоне и триасе), противоречащее необратимой кратонизации, если между ними действительно существует тесная связь.

Идея прогрессирующей кратонизации согласуется с классическими представлениями о наращивании древних ядер континентов концентрически расположенными консолидированными складчатыми областями, возраст которых последовательно уменьшается к периферии. Эти представления, по-видимому, нуждаются в пересмотре. Более определенно можно говорить о миграции геосинклинального режима в сторону экватора в широтных складчатых поясах и с запада на восток в меридиональных. Такая направленность тектонической миграции указывает на связь тектогенеза с ротационным режимом планеты (Краснов, 1976). Несовпадение ротационных параметров литосферы и астеносферы служит источником тектонических напряжений, которые амортизируются сетью планетарных разломов. Согласно этой гипотезе, литосфера, вращающаяся как твердое тело, испытывает деформирующие напряжения на границах, возникающих в астеносфере широтных зон с различной угловой скоростью вращения (аналогичных зонам фотосферы Солнца). Изменение скорости вращения должно вызвать смещение астеносферных зон различной скорости вращения и соответственно тектонически активных зон в литосфере. Этот механизм хорошо объясняет совпадение тектонической активизации с неустойчивостью магнитного поля, также обусловленной изменениями скорости дифференциального вращения астеносферы.

Ритмический характер этих процессов с периодом 30—40 млн. лет выдерживается в течение фанерозоя, маскируя направленность их эволюции. Тем не менее такие состояния литосферы, как скопление сил в южном полушарии в конце палеозоя (марсианская ситуация) и его максимальное дробление в конце мезозоя, уникальны для известного нам отрезка земной истории.

С тех пор, как А. Мийаширо (Miyashiro, 1961) описал парные метаморфические пояса, региональная зависимость уровня метаморфизма от возраста привлекает все большее внимание. Исследование минеральных парагенезисов выявляет однонаправленное многоступенчатое возрастание интенсивности метаморфизма и возраста пород по мере приближения к границе плит. У. Эрнст (Ernst, 1975), исследовавший это явление на примере нескольких метаморфических поясов, предложил в качестве объяснения многоступенчатое соскабливание и вынос на поверхность все более древних слоев погружающейся плиты на все большей глубине.

Установлена связь между возрастом островных дуг и составом вулканических пород, проявляющаяся в последовательной смене толеитовых вулканитов андезитовыми и затем шошопитовыми, хотя выдержанность этой последовательности зависит от особенностей геологического строения дуг и скорости дифференциации магм (Arculus, Johnson, 1978).

Трансгрессии

Гипотеза разрастания континентов постулирует негативную корреляцию возраста и площади морских отложений, однако в действительности эта зависимость оказывается более сложной. В северном полушарии общая тенденция к осушению континентов нарушается мезозойскими трансгрессиями (Hallam, 1977). В кайнозойскую эру каждая последующая трансгрессия меньше предыдущей, кроме эоценовой, которая не уступает меловым (Hallam, 1977). Даже в голоцене линейная зависимость между амплитудой трансгрессий и возрастом не выдерживается. Сложный характер эвстатических колебаний уровня моря объясняется переплетением различных факторов — гляциальных, тектонических и геодных (Möller, 1978). Еще в прошлом веке Э. Ор постулировал связь трансгрессий с орогенезом («закон Ога»). Рифтогенезу предшествуют общее поднятие и регрессия. В неогене поднятие Африки, сопутствующее рифтингу, сочетается с трансгрессиями в Европе, Америке и Австралии (Bond, 1978). Край рифта, раздвигаясь, опускаются. Обширные трансгрессии охватывают окраины континентов по обе стороны раздвиг (юрские и меловые трансгрессии в атлантическом секторе). Утолщенные коры при коллизии континентальных плит вызывает изостатическое поднятие и обширную регрессию. Существуют еще не вполне понятные связи между скоростью дрефта, глубиной океанических впадин и объемом срединно-океанических хребтов.

Более общей причиной эвстатических колебаний могло быть изменение скорости вращения и соответствующая деформация геоида. Ю. И. Кац (1974) полагает, что чередование бореальных и тропических трансгрессий связано с неравномерным вра-

щением планеты. По Н. Мёрнеру (Mörner, 1976), смещение экваториальной волны геоида (сейчас геоид прогнут относительно трехосного эллипсоида в районе Индийского океана, Северной Америки и прилегающей части Тихого океана и приподнят к северу от Австралии, в области Северо-Западной Африки и Западной Европы) вызывает трансгрессию в одних странах и регрессию в других. Даже такие крупнейшие регрессии, как силурийские, охватившие Европу, Северную Америку и Австралию, сопровождались трансгрессиями в Южной Америке и на Сахарской плите (Хаин и др., 1977). Вместе с тем два эпизода геологической истории — в конце перми и в датском веке — представляются уникальными: осушение эпиконтинентальных морей достигает действительно планетарных масштабов. Первый эпизод можно объяснить изостатическим уравниванием Пангеи — уникального для фанерозоя скопления сиала. Второй, возможно, связан с противоположной ситуацией — крайним дроблением сиала в конце мелового периода (все континенты обособлены, Индия еще не соединилась с остальной Азией).

Одна из частных геохронологических проблем, связанных с историей океанов, — соотношение глубины и возраста. Новая океаническая кора, образующаяся в рифтах срединно-океанических хребтов, раздвигаясь, испытывает опускание. При этом поддерживаются определенные отношения между глубиной и возрастом коры. Первоначальное предположение о линейной зависимости между глубиной, расстоянием от рифа и возрастом сейчас может быть принято лишь с существенными поправками (Johnson, Merril, 1978). Этот критерий, по-видимому, не применим к коре более древней, чем меловая. В ряде работ показана зависимость между высотой срединно-океанического хребта и возрастом (а также шириной) океана (см. обзор в статье Л. П. Волокитиной и др., 1978). В океанах моложе 10 млн. лет и шириной менее 500 км глубина гребня обычно не превышает 1000 м.

Скорость осадконакопления

В распределении мощностей отложений по геологическим периодам не обнаруживается ясно выраженной тенденции (которую можно было бы ожидать, исходя из предположения об увеличении контрастности рельефа Земли). Цифры, приведенные Л. Холмсом (Holmes, 1944), свидетельствуют о максимальной скорости осадконакопления в ордовике, мелу и миоцене. Минимальные скорости приходятся на силурийскую пермь. А. Б. Ронов и его соавторы (1976), располагающие гораздо более полными данными, пишут об общем увеличении средних скоростей погружения седиментационных бассейнов в течение фанерозоя. Пики скоростей осадконакопления во второй половине ордовика — начале силура, меловом периоде и спады в конце кембрия —

начале ордовика, в силуре — раннем девоне, на рубеже перми и триаса, в юре и кайнозойское совпадают соответственно с максимальными трансгрессиями и регрессиями эпиконтинентальных морей.

Уникальными эпизодами в истории осадконакопления следует, по-видимому, считать проявившуюся в глобальных масштабах редукцию седиментации на рубежах перми и триаса, мела и палеогена. Перерывы на этих уровнях прослеживаются практически во всех хорошо изученных разрезах. Они отражают, конечно, не повсеместное прекращение осадконакопления, а общую нестабильность седиментационных бассейнов, препятствующую накоплению и захоронению мощных осадочных толщ.

Литогенез

Некоторые литологические типы пород мало изменились с момента появления в геологической летописи. В серии Онвервайт, 3400 Ма, известны мелководные осадочные, пирокластические, кремнистые и карбонатные породы (Lowe, Klauth, 1977). В ряде случаев можно говорить о направленной эволюции, особенно когда литогенез непосредственно связан с эволюцией органического мира. Полосчатые железные руды — кремнисто-гематитовые образования, отражающие сезонную жизнедеятельность анаэробных микроорганизмов, появились на рубеже 3800 Ма (формация Isua в Гренландии). В то же время возросло содержание рассеянного органического вещества, а несколько позднее — 3400 Ма — возникли первые карбонатные постройки синезеленых водорослей. Повышение продуктивности сообществ древних прокариотов привело к накоплению нефтеносных осадков около 2600 Ма. Исчезновение полосчатых железных руд и широкое распространение красноцветов 2000 Ма свидетельствуют об окислительной атмосфере. Широкому распространению одноклеточных эукариотов соответствует образование протерозойских горючих сланцев — шунгитов, 1500 Ма.

В начале фанерозоя синезеленые водоросли замещают другие группы рифостроителей. Развитие водорослей-макрофитов, археоциат, губок, мшанок и кораллов обусловило изменение состава и морфологии биогенных известняков. Вплоть до девона каустобиолиты состояли из сапропелевого материала. С развитием наземной растительности появились гумусовые угли, коры выветривания и продукты их переработки — бокситоподобные красноцветы (Анатольева, 1978). Смена типов углей и угленосных фаций отражает экспансию растительности и эволюцию растений. Спектральный состав органического вещества, содержание в нем азота, углерода и других элементов закономерно меняется от эпохи к эпохе (Jackson, 1975). Соответственно меняются условия образования железо-марганцевых, медных и

урановых руд, бокситов и фосфоритов, связанных с жизнедеятельностью организмов и разложением органического вещества. Однако и в этих системах после определенного рубежа циклические процессы начинают преобладать над направленными.

Последовательность литогенетических ассоциаций аналогична последовательности трансгрессивно-регрессивных циклов или палеомагнитных зон — здесь мы также видим «спокойные» интервалы, характеризующиеся преобладанием той или иной ассоциации, и «нарушенные» интервалы — чересполосицу контрастных литогенетических типов. Мы имеем соответственно ледниковые и межледниковые, антракогенные и галогенные эпохи, эпохи карбонатной и терригенной седиментации, эпохи O_2 и H_2S .

Эти повторяющиеся последовательности отражают смену режимов циркуляции атмосферы и гидросферы, контролируемых относительной инсоляцией полюсов и экватора, тепловым балансом северного и южного полушарий. Уникальные эпизоды литогенеза — например, огромной мощности доломиты позднего докембрия или беспрецедентное по объему угленакопление пенсильвания — нередко связывают с аномальным составом атмосферы, с повышенным содержанием CO_2 (оранжерейный эффект) или ее дефицитом после карбонатной седиментации (антиоранжерейный эффект). Эта гипотеза наталкивается на ряд трудностей (Kröner, 1977; Schermerhorn, 1977a). Парциальное давление CO_2 , возможно, снижалось по мере развития наземной растительности (соответственно накопление карбонатов сдвигалось на большие глубины). Периодическое повышение содержания CO_2 могло быть вызвано вспышками вулканизма или трансгрессиями, редуцировавшими наземную растительность (McLean, 1978). Значение тектонических и (или) температурных пусковых механизмов подтверждается тем, что частые литогенетические инверсии характерны для переломных моментов геологической истории, примером чего может служить переслаивание карбонатных пород и криогенных микститов в венде (Williams, 1975; см. также критические замечания в статье Schermerhorn, 1977a, б), красноцветов и угленосных фаций в пермских разрезах Северной Америки и Восточной Азии, на рубеже олигоцена и миоцена в Западной Европе и других странах. Такие «нарушенные» последовательности, по-видимому, отвечают крайней неустойчивости климатической ситуации.

Эволюция биосферы

Так как жизнь зависит от глубинных источников углерода, то тектоническая и вулканическая активность планеты была необходимым условием появления организмов и биосферы (Ронов, 1978). Первыми обитателями планеты были, вероятно, анаэробные фотосинтезирующие бактерии, у которых реакция фо-

тосинтеза не сопровождалась выделением молекулярного кислорода. Дальнейшее развитие жизни также тесно связано с тектогенезом. Около 3400 Ма (начало формирования зеленокаменных поясов) доминирующее положение заняли синезеленые водоросли, фотосинтетический аппарат которых развился, по-видимому, вследствие накопления значительного количества свободного кислорода путем фотодиссоциации (Towse, 1978). Эукариотические водоросли появились после обширной складчатости в начале неогена и господствовали до конца протерозоя. Развитию одноклеточных эукариотов предшествовало образование окислительной атмосферы и, возможно, озонового экрана (Margulis et al., 1976). Распространение многоклеточных в позднем докембрии можно связать с двумя последовательными оледенениями около 900 и 700 млн. лет назад, возникновением системы циркуляции океанических вод, снабжающей кислородом придонные слои. При этом карбонатные постройки водорослей подверглись частичному размыву, поставляя материал для известковых скелетов древнейших беспозвоночных.

В фанерозое периодичность эволюции биосферы (30—40 млн. лет), определяющая основные стратиграфические рубежи, совпадает с периодичностью тектогенеза. Многие эволюционисты отрицают столь тесную связь между развитием жизни и геологическими процессами, отдавая предпочтение «внутренним факторам». Однако, как показал Дж. Холдейн на заре развития генетики, эволюция достигается дорогой ценой — генетической смертью множества генотипов. Поэтому «внутренние факторы» направлены главным образом на сохранение равновесия. Эволюция — вынужденный процесс, вызванный воздействиями, нарушающими пределы устойчивости экосистем.

Чем же отличаются границы геологических периодов и эр от любого произвольно выбранного геохронологического среза в их пределах? Известно, что на границах сгущаются эпизоды первого и последнего появления таксонов в летописи. Однако изменения биоты, по-видимому, носили более глубокий характер. В течение всего палеозоя и перми, около 100 млн. лет, Северную Азию покрывали войновские леса («кордаитовые») леса — один из основных биомов позднепалеозойской биосферы. Другой ведущей палеозойской растительной формацией были мангровые лепидофитовые леса с разнообразными птеридоспермами. Мощные угольные пласты свидетельствуют о весьма внушительной фитомассе этих лесов. В начале триаса их заместили «тростниковые» заросли плевромейи. В позднемеловую эпоху еще более широкое распространение получили таксодиевые леса с лавролистными и платановыми цветковыми. Они простирались от Гренландии до Сахалина и от Аляски до Таиланда. На рубеже мела и палеогена этот своеобразный биом распался, уступив место троходендровым лесам. Плейстоцено-

вая тундростепь — еще один вымерший биом. Можно было бы привести аналогичные примеры из истории морской биоты. Смысл их сводится к тому, что на рубежах геохронов исчезают биомы, составлявшие основу биосфер прошлого. Вместе с ними приходят в упадок и вымирают (полностью или частично) доминирующие группы растений и животных — наиболее приспособленные организмы своей эпохи.

Таким образом, события на рубежах геохронов противоположны нормальной дарвиновской эволюции: здесь происходит вымирание наиболее приспособленных. Выживают и дают начало новым доминирующим типам менее конкурентоспособные виды, оттесненные к периферии адаптивных зон. Можно, по-видимому, говорить о чередовании «спокойных» стадий нормальной (когерентной) дарвиновской эволюции в закрытых экосистемах с напряженной конкуренцией за энергетические ресурсы (выживание наиболее приспособленных, углубление специализации) и «нарушенных» стадий некогерентной эволюции в открытых дисклиматических экосистемах (вымирание наиболее приспособленных, формирование новых гомеостатических механизмов).

Специализация видов

В устойчивых условиях эволюция популяций направлена в сторону увеличения эффективности использования трофических и репродуктивных ресурсов, что достигается за счет сужения экологических ниш, полового отбора и специализации. Универсальность этих процессов обеспечивает им ведущее место в биоистратиграфических построениях. Палеонтологи обычно распознают такие сопутствующие специализации морфологические тенденции, как увеличение (уменьшение) размеров, усложнение тех или иных органов, олигомеризация, редукция функционально избыточных органов, смещение развития признаков взрослого организма на все более ранние стадии онтогенеза. Нередко складывается впечатление, что в морфологические преобразования вовлечены все особи (в таких случаях говорят о филетической эволюции, или «перечеканке», вида) скорее под влиянием ламарковских факторов, чем отбора. Последовательная гомозиготизация популяции может, вероятно, дать подобный эффект. Примеров очень длительной филетической эволюции неизвестно. Очевидно, она завершается при достижении определенного уровня гомозиготности.

Дальнейшая эволюция приобретает более скачкообразный характер и более тесно связана с изменениями среды. Один из возможных механизмов заключается в появлении «профетических форм» — преадаптированных фенотипов, возникающих с низкой частотой в равновесных популяциях. Профетические формы нередко демонстрируют педоморфные признаки. На бо-

лес высоким стратиграфическом уровне происходит более или менее внезапное увеличение встречаемости профетической формы, которая теперь становится массовой и получает статус нового вида. Именно так, по А. Ваагену, развивался процесс «мутаций». В работах прошлого века можно найти много примеров, укладывающихся в эту схему, хотя в дальнейшем палеонтологи не уделяли им достаточного внимания, очевидно, в силу укоренившихся эволюционных стереотипов. В юрских листовых «популяциях» папоротника *Dicksonia concinna* Heeg я встречал редкие формы с крайне редуцированной листовой пластинкой, крупными сорусами и разросшимся внешним индузием. Это характерно для мелового *Dicksonia arctica* (Krassilov, 1978).

Избирательное скрещивание, или репродуктивный успех, редких фенотипов (явление, изученное на популяциях дрозофилы) могло сыграть какую-то роль в увеличении численности профетической формы, однако для растений такое объяснение, конечно, не подходит. В свропейской морской юре, как и в упомянутом здесь палеоботаническом примере, связь ваагеновских мутаций со сменой фаций (и, следовательно, с изменением условий) вполне очевидна (Hewitt, Hurst, 1977).

Альтернативный механизм — возникновение новой формы в краевых популяциях с последующим замещением более консервативных центральных популяций. Хотя теоретически такой механизм скачкообразных смен вполне вероятен, его трудно подтвердить палеонтологически.

Биостратиграф, работающий в пределах стратиграфического интервала, ограниченного снизу и сверху отчетливыми планетарными рубежами, обычно ориентируется на эволюционные тенденции, связанные со специализацией. Он выделяет зоны, отвечающие последовательным состояниям признаков в идиоадаптационных рядах одной или нескольких групп организмов. Нередко складывается впечатление независимости эволюции от внешних воздействий. Кажется возможным определить любой стратиграфический рубеж как границу между последовательными филозонами. Однако комплексный биоседиментологический анализ чаще всего выявляет соответствие между палеонтологическими зонами и циклотемами, отражающими ритмичность эвстатических колебаний уровня океана или климата (Duff et al., 1967). Эти внешние воздействия недостаточны для нарушения общей структуры биоценозов, в которых развиваются идиоадаптационные процессы. Более сильные воздействия, связанные с планетарной тектонической активизацией, как правило, вызывают массовое вымирание специализированных видов. Идиоадаптационные линии обрываются, и соответствующие рубежи уже нельзя представить как границы между филозонами. Таким образом, геохронологическое значение специализации ограничено «спокойными» интервалами геологического времени.

Учение о прогрессе сложилось в эпоху господства телеологического мироощущения. Прогресс рассматривали как восхождение к наиболее совершенному состоянию, к божеству или к символической «точке омега». После дарвиновской революции, суть которой состояла в замене телеологических установок казуальными, многие эволюционисты стали отождествлять прогресс с любым направленным развитием. Было выделено несколько форм прогресса. В результате идея общепрогрессивного прогресса пришла в упадок.

Я попытался дать нетелеологическое определение прогресса, рассматривая его как движение не к тому или иному конечному состоянию, а от определенного исходного состояния (Красилов, 1974). Прогресс измерялся дистанцией между живым и неживым (начальное состояние). Однако, исходя из общих представлений об эволюции как о движении к устойчивому равновесию, подчиняющемуся второму закону термодинамики, я считаю допустимой телеологическую версию прогресса. Конечным пунктом эволюционного прогресса будет, вероятно, столь высокая приспособляемость к непредсказуемым изменениям условий, при которой дальнейшая эволюция не имеет смысла. Повышение активности, развитие органов чувств, теплокровности, внутреннее оплодотворение, заботу о потомстве, интеллект, технику и другие гомеостатические механизмы можно рассматривать как прогрессирующее приспособление к непредсказуемым условиям, ведущее к завершению эволюции.

При непредсказуемых изменениях условий развитие гомеостатических механизмов становилось решающим фактором выживания и смены доминирующих форм организмов. Этот процесс отражен геологической летописью как одна из существенных черт геобиологических революций, намечающих стратиграфические рубежи высшего ранга.

Молекулярные часы

Гипотеза молекулярных часов Е. Цукеркендла и Л. Полинга постулировала линейную зависимость между мутационными дистанциями гомологичных белков и длительностью дивергенции (геологическим возрастом ближайшего общего предка) соответствующих таксонов. В моем обзоре (Красилов, 1977) отражена ситуация 1975 г., когда было выполнено еще сравнительно немного палеогенетических построений и появились первые предположения о периодическом характере молекулярной эволюции. Сейчас число палеогенетических реконструкций по гемоглобину, парвальбуминам, инсулину, кристаллину, цитохромам и другим белкам возросло в десятки раз. Вполне достовер-

но выявляется ускорение мутагенеза на ранних стадиях эволюции (см. обзор в работе Jong et al., 1977). Отмечены более чем 10-кратные перепады скорости нуклеотидных замещений (Goodman, Pechère, 1977).

Таксономическое разнообразие

Давно известно, что в ходе развития сообщества разнообразие возрастает (нелинейно) и что зрелое сообщество характеризуется устойчивым разнообразием, свидетельствующим о биоценозическом равновесии. Около 130 лет назад А. Р. Уоллес связал различия в разнообразии сообществ тропиков и умеренных широт с постоянством условий (в тропиках условия более постоянные и разнообразие выше). В последние годы интерес к этой проблеме значительно возрос. Появилось множество работ, исследующих связь разнообразия с постоянством (предсказуемостью) условий в общей форме или с такими компонентами постоянства, как долговременная (историческая) устойчивость, кратковременная устойчивость (сезонность), пространственная гетерогенность и др. В этих исследованиях разнообразие выступает как функция потенциальной площади обитания (теория островной биогеографии), степени дробления экологического гиперпространства, ширины экологических ниш, специализации видов, изменчивости, преобладания одной из альтернативных форм отбора (K- или r-отбора). Иначе говоря, разнообразие — это важнейший показатель общей биоценозической и эволюционной ситуации. Вымирание и появление новых форм можно рассматривать как механизмы регуляции разнообразия.

В геохронологии существует несколько моделей эволюции разнообразия. Согласно одной из них, разнообразие со временем неуклонно возрастает. По Дж. Валентайну (Valentine, 1973), разнообразие шельфовых беспозвоночных увеличилось со среднего палеозоя в 10 раз. Р. Бамбах приводит более скромную цифру — в 4 раза. Другие авторы считают подобное увеличение разнообразия артефактом неполноты летописи (которая со временем уменьшается) и постулируют эволюционное равновесие — модель, в которой вымирания уравновешиваются появлением новых таксонов (Mark, Flessa, 1973; Raup, 1976). Наконец, большой интерес представляет модель периодических колебаний разнообразия всей биоты. В середине прошлого века Дж. Филлипс проводил рубежи между выделенными им и А. Седжвиком геологическими эрами, ориентируясь на резкие сокращения разнообразия биоты.

Впоследствии многие авторы писали об условности деления геохронологической шкалы на эры, забывая о том, что Филлипс руководствовался вполне объективным критерием. Сокращение разнообразия семейств и родов по меньшей мере в 2 раза на

рубеже перми и триаса и затем между мелом и палеогеном подтверждено специальными исследованиями (Newell, 1963; Schopf, 1974; Russel, 1976; и др.). Модель К. Флеса и Дж. Левинтона (Flessa, Levinton, 1975) допускает рост разнообразия, обрываемый геологическими катастрофами. Дж. Сепкоский (Sepkoski, 1976), исходя из теории островной биогеографии, постулирует варьирование разнообразия в зависимости от площади потенциальных биотопов (в частности, от площади эпиконтинентальных морей). В более общем плане эта теория предполагает зависимость между эволюцией разнообразия и развитием континентальной коры (см. выше), а также обратные соотношения между разнообразием морской и наземной биоты (при трансгрессиях площадь потенциальных местообитаний первой расширяется, второй — сокращается).

Выбор между этими моделями, конечно, имеет решающее значение для теории стратиграфии. Липейный рост разнообразия со временем означал бы, что с момента появления жизни мы получаем постоянный геохронологический критерий. Однако достоверность этой модели невелика даже для начальных стадий развития жизни. Нет оснований думать, что жизнь возникла в одной форме. Находки древнейших организмов подтверждают теорию первичного разнообразия прокариотических и эукариотических организмов, вступавших в сложные симбиотические отношения в анаэробных условиях. С образованием окислительной атмосферы, возможно, связано первое крупное сокращение разнообразия (Woese, 1977; и др.). Модель «эволюционного равновесия» предполагает довольно быструю стабилизацию разнообразия после некоторого исходного роста. В этом случае разнообразие теряет значение операционного геохронологического критерия. Согласно третьей модели, которую по праву можно назвать моделью Филлипса, разнообразие испытывает периодические колебания различной амплитуды, некоторые из них оцениваются как уникальные эволюционные события, маркирующие рубежи эр и других геохронов высшего ранга. Компенсация вымирания развитием новых форм, очевидно, предполагает дарвиновский механизм конкурентного исключения, не зависящий от внешних воздействий, тогда как модель Филлипса недвусмысленно указывает на связь эволюции биоты с геологическими факторами.

Казалось бы, эволюцию разнообразия (или по крайней мере одного ее компонента — таксономического богатства) можно изучить с помощью простого подсчета таксонов, зарегистрированных в последовательных стратонах. Однако из-за многочисленных искажений такой подсчет, по-видимому, не даст достоверных результатов. В качестве основных источников искажения указывают неодинаковую длительность геохронов, различия в объемах осадков и картируемых площадях выходов пород, а также

неравномерное распределение специалистов по таксономическим группам и стратиграфическим интервалам (Rohr, Boucot, 1974; Raup, 1976; Sheehan, 1977; и др.). Эти факторы безусловно влияют на число изученных местонахождений и представительность выборок. Число местонахождений и полнота сохранности зависят также от многих других обстоятельств — от степени обнаженности, объема бурения, фаций, условий диагенеза, тектонических нарушений и т. д. Поэтому нормализация числа таксонов по радиометрической длительности эпох и (или) по объему осадков не решает проблемы. Далее, оценка разнообразия сильно зависит от равномерности распределения частот таксонов. При малых выборках фауна с резко выраженным доминированием одного-двух видов неизбежно покажется менее разнообразной, чем фауна с таким же числом видов, но более равномерным распределением. Нормализация по размерам выборки в какой-то степени достигается методом рарефикации (Raup, 1975). Предложен также ряд индексов, позволяющих учесть равномерность распределения. Чаще других используют информационный индекс и индекс Симпсона (или его обратную форму $1 - \sum_{i=1}^s P_i^2$, которая связана с разнообразием прямой зависимостью).

В математической экологии индекс Симпсона получил высокую оценку (Whittaker, 1972; Peet, 1974). В отличие от информационной функции он чувствителен к изменению разнообразия обычных (а не редких) видов. Для мезозойских хвойных метод Симпсона (Краслов, 1979) показал падение разнообразия на рубеже триаса и юры и затем неуклонный рост в течение юры и раннего мела, что совпадает с интуитивной оценкой и, по-видимому, правильно отражает эволюцию разнообразия, чем число видов, нормализованное по числу местонахождений (с пиком в средней юре). Эти данные лучше всего согласуются с моделью Филлипса.

Сукцессионные серии

В палеоэкологии мы чаще всего имеем дело со зрелыми (климаксовыми) сообществами. Однако в некоторых случаях геологическая летопись сохраняет след развития сообщества от ранних, пионерных стадий к климаксу. В таких сериях прослеживается усложнение структуры сообщества, увеличение разнообразия, смена видов-эксплерентов более конкурентоспособными видами. Они имеют определенный геохронологический смысл. В разрезе талынжанской свиты Буреинского бассейна я описал смену папоротниковых маршей неморальными группировками с *Elatides* и *Czekanowskia* и затем климаксовым феникопсисовым лесом (Краслов, 1972). Исходя из современной скорости серий-

ных смел, можно приблизительно определить длительность накопления 150-метровой толщи дельтовых отложений: около 10—20 тыс. лет. К. Уолкер и Ч. Паркер (Walker, Parker, 1976) описали серию в ордовике, начинающуюся пионерными колониями *Strophomena basilica* на илстом грунте. Ее раковины образуют «мостовую», на которой поселяются инкрустирующие мшанки, затем ветвящиеся колонии мшанок и, наконец, устойчивое сообщество с *Rosticellula rostrata* и разнообразными моллюсками. Эта серия повторяется несколько раз в толще ритмического чередования аргиллитов и известняков.

Техническая эволюция

Технический критерий в геохронологии вполне аналогичен биологическому. Как и в эволюции видов, «спокойные» периоды характеризуются углублением специализации, изготовлением все более совершенных изделий. Здесь также возникают геохронологические проблемы, связанные с параллелизмом и частичной обратимостью технологических тенденций («поздний» мустье в некоторых разрезах предшествует «раннему», свидетельствуя о сложном взаимодействии параллельно развивающихся культурных традиций). Археологи испытывают трудности в прослеживании истоков новой технологии, которая развивается взрывообразно, сообщая археологической летописи прерывистый характер (аналогично палеонтологи не находят предков наиболее распространенных групп организмов). При более детальном исследовании в недрах старой культуры обнаруживаются предвестники будущих открытий. Подобно пророческим формам в палеонтологии, они получают развитие лишь в подходящих условиях, во время технологических революций, маркирующих важнейшие геохронологические рубежи антропогена. Мустьерская революция развивалась параллельно в Европе, Азии и Африке. Аналогично и процесс неолитизации охватил множество разрозненных популяций (Borders, 1960).

Технологический критерий имеет значение не только для антропогена. О. С. Вялов и И. Д. Сукачова (1976) описали последовательные стадии эволюции домиков ручейников, по-видимому, отражающие развитие строительного инстинкта. Применение этого критерия в стратиграфии мезозойских озерных отложений Монголии дает обнадеживающие результаты.

Заключение

Мы видим, что многие процессы, обладающие сквозной или хотя бы короткопериодической направленностью, пригодны для трассирования фрагментов геологического времени. Вместе с тем ни один из них не даст независимой временной шкалы. Это об-

стоятельство заставляет изменить логику геохронологических исследований. Временная упорядоченность событий определяется не привязкой этих событий к независимой шкале, а их сопоставлением между собой на основании той или иной геохронологической гипотезы (биологический прогресс — одна из таких гипотез) с последующей многократной проверкой в практике стратиграфических построений.

В геохронологической последовательности разноплановых событий наблюдается чередование «спокойных» и «нарушенных» интервалов. Эти термны заимствованы из магнетостратиграфии, но они в равной степени подходят к смене контрастных литогенетических типов с частым переслаиванием в нарушенных интервалах и к чередованию когерентных (дарвиновских) и некогерентных стадий в эволюции биосферы. Нарушенные интервалы отражают общую неустойчивость планетарных геологических и биологических систем. Для них характерна резкая редукция осадконакопления (широко распространенные перерывы), сокращение разнообразия биоты, смена эволюционных тенденций. Они намечают положение естественных стратиграфических рубежей.

Можно предположить, что одно и то же событие — изменение ротационного режима планеты — служит пусковым механизмом инверсий магнитного поля, тектоники плит, эволюции климата, морских и наземных экосистем, литогенеза. Согласованное развитие всех этих взаимосвязанных процессов определяет неповторимые черты последовательных геохронов. Сочетание характерных фенетических, биоценологических, геохимических, палеомагнитных, радиометрических признаков составляет диагноз геохрона. Стратиграфическая корреляция сводится к классификации по признакам, отмеченным печатью времени, определенным стратиграфическим стилем.

Биогеографы замечают географический стиль — своеобразные черты растений и животных той или иной страны. В некоторых районах тропического леса все насекомые синие, а через несколько километров начинается царство красных (Берг, 1977). С наименьшим основанием и палеонтолог может говорить о стратиграфическом стиле каждой геологической эпохи. В этом смысле справедливо замечание Д. В. Наливкина (1978), что возраст можно определить и по обломку раковины.

В ходе эволюции совершенствуются гомеостатические механизмы, и, наконец, эволюция прекращается. Состав атмосферы, условия метаморфизма и другие системы развивались направленно, по-видимому, только в докембрии. После окончания направленной эволюции системы ее признаки утрачивают стратиграфическое значение, приходится переходить на признаки других систем.

В учении о времени сохранилось свойственное средневековой

науке стремление вводить дополнительные сущности для объяснения свойств движущихся систем. Если рассматривать время как свойство движения (в частности, геологическое время — свойство геологического движения, эволюции геологических систем), то геологическая летопись свидетельствует о его прерывистом; периодическом характере. Впрочем, проблема геологического времени еще очень слабо изучена.

ЛИТЕРАТУРА

- Анатольева А. И. Главные рубежи эволюции красноцветных формаций. Новосибирск, 1978. 189 с.
- Апарин В. П., Веденков В. С. Хронологическая согласованность палеомагнитных и тектонических перестроек в фанерозое и докембрии.— ДАН СССР, 1977, т. 232, № 6, с. 1380—1382.
- Берг Л. С. Труды по теории эволюции. Л., 1977. 387 с.
- Борукаев Ч. Б. Схема общей периодизации тектонической истории Земли.— Геол. и геофиз., 1977, № 12, с. 3—11.
- Вассоевич Н. Б. К изучению слоистости осадочных горных пород.— В кн.: Литологический сборник. Л., 1948, с. 24—34.
- Волокитина Л. П., Савостов Л. А., Зоненшайн Л. П. Зависимость глубины срединно-океанических хребтов от ширины океанов.— ДАН СССР, 1978, т. 243, № 4, с. 984—986.
- Вялов С. С., Сукачева И. Д. Ископаемые домки личинок ручейников (Insecta, Trichoptera) и их значение для стратиграфии.— В кн.: Палеонтология и биостратиграфия Монголии. М., 1976, вып. 3, с. 169—232.
- Кац Ю. И. Геомангнитные инверсии: ротационная обусловленность и корреляция с геологическими процессами и эволюцией организмов.— В кн.: Космос и эволюция организмов. М., 1974, с. 199—216.
- Красилов В. А. Мезозойская флора р. Буреи. М., 1972. 150 с.
- Красилов В. А. К вопросу об общем законе эволюции живых систем.— В кн.: Материалы эвол. семинара. Владивосток, 1974, с. 50—60.
- Красилов В. А. Тектоника плит и ротационный режим планеты.— Изв. АН СССР. Сер. геол., 1976, № 1, с. 74—82.
- Красилов В. А. Эволюция и биостратиграфия. М., 1977. 256 с.
- Красилов В. А. Эволюция разнообразия мезозойских хвойных СССР.— В кн.: Дальневосточная палеофлористика.— Владивосток, 1979, с. 7—19.
- Маракушев А. А. Проблемы минеральных фаций метаморфических и метасоматических горных пород. М., 1969. 124 с.
- Мостепаненко А. М. Пространство — время и физическое познание. М., 1975. 216 с.
- Наливкин Д. В. Детализация стратиграфическая и палеонтологическая.— В кн.: Современное значение палеонтологии для стратиграфии: Тез. докл. 24-й сес. Всесоюз. палеонтол. о-ва. Л., 1978, с. 54—55.
- Ронов А. Б. Принципы сохранения жизни в ходе геологической эволюции Земли.— Природа, 1978, № 4, с. 30—41.
- Ронов А. Б., Хаин В. Е., Болюховская А. Н., Сеславинский К. Б. Изменение распространенности, объемов и скоростей накопления осадочных и вулканогенных отложений в фанерозое.— Изв. АН СССР. Сер. геол., 1976, № 12, с. 5—12.
- Салоп Л. И. Геологическая интерпретация данных аргонового определения абсолютного возраста горных пород.— Геол. и геофиз., 1963, № 1, с. 3—21.
- Хаин В. Е., Ронов А. Б., Сеславинский К. Б. Силурийские литологические формации мира.— Сов. геол., 1977, № 5, с. 21—43.
- Шульдинер В. И. Докембрий на севере Тихоокеанского кольца. Новосибирск, 1973. 172 с.
- Шульдинер В. И. О принципах построения общей геохронологической шкалы

- раннего докембрия (дорифея).— Изв. АН СССР. Сер. геол., 1978, № 6.
- Arculus R. J., Johnson R. W.** Criticism of generalised model for the magnetic evolution of arc-trench systems.— *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1978, vol. 39, p. 118—126.
- Bambach R. K.** What is the pattern of change in species diversity with time?— *Geol. Soc. Amer. Abstr.*, 1975, vol. 7, p. 987—988.
- Bambach R. K.** Species richness in marine benthic habitats through the Phanerozoic.— *Paleobiology*, 1977, vol. 3, p. 152—167.
- Berggren W. A., McKenna M. C.** et al. Revised Paleogene polarity time scale.— *J. Geol.*, 1978, vol. 86, p. 67—87.
- Berry W. B. N., Barker R. M.** Fossil bivalve shell indicate longer month and year in Cretaceous than present.— *Nature*, 1968, vol. 217, p. 938—939.
- Bond G.** Evidence for Late Tertiary uplift of Africa relative to North America, South America, Australia and Europe.— *J. Geol.*, 1978, vol. 86, p. 47—65.
- Borders F. H.** Evolution in the paleolithic cultures.— In: *Evolution after Darwin*. Univ. Chicago Press, 1960, vol. 2, p. 99—110.
- Burke K., Kidd W. S. E.** Archean geothermal gradients.— *Nature*, 1978, vol. 272, p. 240.
- Buttler R., Linsay E. H., Jacobs L. L., Johnson N. M.** Magnetostratigraphy of the Cretaceous—Tertiary boundary in the San Juan Basin, New Mexico.— *Nature*, 1977, vol. 267, p. 318—329.
- Class B., Heezen B. C.** Tektites and geomagnetic reversals.— *Sci. Am.*, 1967, vol. 217, p. 33—38.
- Duff P. McL. D., Hallam A., Walton E. K.** Cyclic sedimentation.— In: *Developments in sedimentology*. Amsterdam, 1967 vol. 10.
- Ernst W. G.** Systematics of large-scale tectonics and age progressions in Alpine and circum-Pacific blueschist belts.— *Tectonophysics*, 1975, vol. 26, p. 229—246.
- Flessa K. W., Levinton J. S.** Phanerozoic diversity patterns: tests for randomness.— *J. Geol.*, 1975, vol. 83, p. 239—248.
- Foster J. H.** The geomagnetic field and the Cretaceous—Tertiary extinctions.— *Sylogus*, 1976, N 12, p. 63—74.
- Goodman M., Pechere J. F.** The evolution of muscular parvalbumins investigated by the maximum parsimony method.— *J. Mol. Evol.*, 1977, vol. 9, p. 131—158.
- Hallam A.** Secular changes in marine inundation of USSR and North America through the Phanerozoic.— *Nature*, 1977, vol. 269, N 5631, p. 769—772.
- Harper C. W.** Standing diversity of fossil groups in successive intervals of geologic time: a new measure.— *J. Paleontol.*, 1975, vol. 49, N 4, p. 752—757.
- Hewitt R. A., Hurst J. M.** Size changes in Jurassic liparoceratid ammonites and their stratigraphical and ecological significance.— *Lethaia*, 1977, vol. 10, p. 287—301.
- Hillaire-Marcel C., Occhietti S.** Frequence des datations au 14C de fauns marins postglaciaires de l'est du Canada et variations paleoclimatiques.— *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 1977, vol. 21, p. 17—54.
- Holmes A.** Principles of physical geology. London; Edinburgh, 1944. 532 p.
- Irving E., Pullaiah G.** Reversals of the geomagnetic field, magnetostratigraphy, and relative magnitude of paleosecular variation in the Phanerozoic.— *Earth Sci. Rev.*, 1976, vol. 12, p. 35—64.
- Jackson T. A.** «Humic» matter in the bitumen of pre-Phanerozoic and Phanerozoic sediments and its paleobiological significance.— *Amer. J. Bot.*, 1975, vol. 275, p. 906—953.
- Johnson H. P., Merrill R.** A direct test of the Vine—Matthews hypothesis.— *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1978, vol. 40, p. 263—269.
- Jong W. W., de Gleeaves J. T., Boulter D.** Evolutionary changes of α -crystallin and the phylogeny of mammalian orders.— *J. Mol. Evol.*, 1977, vol. 10, p. 123—135.

- Kahn P. G. K., Pompea S. M. Nautilus growth rhythms and dynamical evolution of the Earth-Moon system.—*Nature*, 1978, vol. 275, N 5681, p. 606—611.
- Kempton R. A., Taylor L. R. Models and statistics for species diversity.—*Nature*, 1976, vol. 262, p. 817—820.
- Knoll A. H. Did emerging continents trigger metazoan evolution?—*Nature*, 1978, vol. 276, p. 701—703.
- Krassilov V. A. [Красилов В. А.]. Mesozoic lycopods and ferns from Bureja.—*Palaeontographica*, 1978, Abt. B, Bd 166, S. 16—29.
- Kröner A. Non-synchronicity of Late Precambrian glaciations in Africa.—*J. Geol.*, 1977, vol. 85, p. 289—300.
- Kukla G., Nakagawa H. Late Cenozoic magnetostratigraphy. Comparison with bio-, climato- and lithozones.—*Quart. Res.*, 1977, vol. 7, p. 283—293.
- Lee C., Bada J. L., Peterson E. Amino acid in modern and fossil woods.—*Nature*, 1976, vol. 259, p. 183—186.
- Lowe D. K., Knauth L. P. Sedimentology of the Onverwacht Group (3, 4 billion years) Transvaal, South Africa and its bearing on the characteristics and evolution of the early Earth.—*J. Geol.*, 1977, vol. 85, p. 699—723.
- Margulis L., Walker J. C. G., Rambler M. Reassessment of roles of oxygen and ultraviolet light in Precambrian evolution.—*Nature*, 1976, vol. 264 p. 621—624.
- Mark G. A., Flessa K. W. A test for evolutionary equilibria: Phanerozoic brachiopods and Cenozoic mammals.—*Paleobiology*, 1973, vol. 3, p. 17—22.
- McLean D. M. Land floras: the major Late Phanerozoic atmospheric carbon dioxide/oxygen control.—*Science*, 1978, vol. 200, N 4345, p. 1060—1062.
- Miyashiro A. Evolution of metamorphic belts.—*J. Petrol.*, 1961, vol. 2, p. 277—311.
- Mörner N. A. Eustasy and geoid changes.—*J. Geol.*, 1976, vol. 84, p. 123—151.
- Mörner N. A. Low sea level, droughts and mammalian extinctions.—*Nature*, 1978, vol. 271, p. 738—739.
- Newell N. D. Crisis in the history of life.—*Sci. Amer.*, 1963, vol. 208, p. 76—92.
- Niklas K. J. Theoretical evolutionary rates in Plant groups and the fossil record.—*Brittonia*, 1977, vol. 3, p. 241—254.
- O'Rourke J. E. Pragmatism versus materialism in stratigraphy.—*Amer. J. Sci.*, 1976, vol. 276, p. 47—55.
- Panella G. Palaeontological clocks and the history of the Earth's rotation.—*In: Growth rhythms and history of the Earth's rotation*. New York, 1975, p. 253—284.
- Peet R. K. The measurement of species diversity.—*Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 1974, vol. 5, p. 285—308.
- Popper R. *Objective knowledge: an evolutionary approach*. Oxford, 1972.
- Prigogine J. Time, structure and fluctuations.—*Science*, 1978, vol. 201, N 4358, p. 777—785.
- Raup D. M. Taxonomic diversity estimation using rarefaction.—*Paleobiology*, 1975, vol. 1, p. 332—342.
- Raup D. M. Species diversity in the Phanerozoic.—*Paleobiology*, 1976, vol. 2, p. 279—297.
- Rehr D. M., Boucot A. J. Evolutionary patterns in the Paleozoic Rivalvia: documentation and some theoretical considerations: discussion.—*Bull. Geol. Soc. Amer.*, 1974, vol. 85, p. 665—666.
- Russel D. A. The biotic crisis at the end of the Cretaceous period.—*Syllogeus*, 1976, N 12, p. 11—24.
- Schermerhorn L. J. G. Late Precambrian dolomites, Vendian glaciation, and synchronicity of Vendian glaciations: a discussion.—*J. Geol.*, 1977a, vol. 85, p. 247—250.
- Schermerhorn L. J. G. Late Precambrian climate and the Earth's obliquity—a discussion.—*Geol. Mag.*, 1977b, vol. 114, p. 57—64.

- Schopf T. J. M.** Perm—Triassic extinctions: relation to seafloor spreading.—*J. Geol.*, 1974, vol. 82, p. 129—143.
- Sepkoski J. J.** Species diversity in the Phanerozoic: species—area affects.—*Paleobiology*, 1976, vol. 2, p. 298—303.
- Sheehan P. M.** Species diversity in the Phanerozoic. A reflection of labor by systematists?—*Paleobiology*, 1977, vol. 3, p. 325—329.
- Sutton J.** Some changes in continental structure since Early Precambrian time.—In: *Implications of continental drift to the Earth sciences*. London; New York, 1977, vol. 2, p. 1071—1081.
- Towe K. M.** Early Precambrian oxygen: a case against photosynthesis.—*Nature*, 1978, vol. 274, N 5672, p. 657—661.
- Valentine J.** *Evolutionary paleoecology of the marine biosphere*. Prentice Hall, 1973, 511 p.
- Walker K. R., Parker W. C.** Population structure of a pioneer and latter stage species in an Ordovician ecological succession.—*Paleobiology*, 1976, vol. 2, p. 191—201.
- Wells J. W.** Coral growth and geochronology.—*Nature*, 1963, vol. 197, p. 948—950.
- Whitrow G. J.** *The natural philosophy of the time*. Edinburgh, 1961. 324 p.
- Whittaker R. H.** Evolution and measurement of species diversity.—*Taxon*, 1972, vol. 21, p. 213—251.
- Williams G. E.** Late Precambrian glacial climate and the Earth obliquity.—*Geol. Mag.*, 1975, vol. 112, p. 441—544.
- Windley B. F.** Timing of continental growth and emergence.—*Nature*, 1977a, vol. 270, p. 426—427.
- Windley B. F.** The crust-mantle boundary in space and time.—*J. Geol. Soc.*, London, 1977b, vol. 134, p. 99—102.
- Woese C. R.** Endosymbionts and mitochondrial origins.—*J. Mol. Evol.*, 1977, vol. 10, p. 93—96.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ КОНЦЕПЦИИ ВРЕМЕНИ В СТРАТИГРАФИИ И ГЕОХРОНОМЕТРИИ

Все задачи, решаемые геологией в соответствии с современными представлениями о внутренней структуре этой науки и логикой познания сущности геологических явлений, можно разделить на три класса: статические, генетические и ретроспективные (исторические).

С позиций статического подхода изучаются структура, текстура, вещественный состав, физико-химические свойства, закономерности пространственной локализации геологических объектов и их взаимоотношения, т. е. явления, которые составляют предмет исследования основных подразделов геологии. Специфика статического исследования состоит в том, что в его процессе фиксируются и изучаются те признаки и свойства геологических объектов и их ансамблей, которыми они обладают в данный момент.

Основные задачи генетического направления сводятся к выявлению природы, механизма, закономерностей возникновения и развития геологических объектов. При этом отправным пунктом служат данные статического изучения. Для генетической интерпретации этих данных проводятся специальные эксперименты, моделирующие те или иные геологические явления, или применяется так называемый принцип актуализма.

Генетические исследования принципиально отличаются от статических тем, что учитывают временные параметры изучаемых объектов. В генетических построениях обязательны представления о возрастных отношениях (типа «раньше — позже») между признаками конкретных объектов и о временных свойствах (длительности, возникновения, развития) самих моделируемых процессов. В связи с этим, и особенно если учитывать, что в задачи генетических исследований входит и формулировка законов автономного развития геологических систем и процессов, очевидна необходимость в системе единиц измерения геологического времени. Иными словами, генетические исследования немыслимы без метрики времени для количественной оценки такого важнейшего показателя любого природного процесса, как его скорость.

Ретроспективное направление исследований в геологии —

синтезирующее. Исходным материалом для него служат как результаты статического изучения геологических объектов, так и их функциональные модели и генетические построения. Если рассматривать конкретные геологические объекты как протоколы давно минувших событий, то главными задачами ретроспективных исследований можно считать выяснение пространственно-временной локализации событий, взаимосвязей и причинно-следственных отношений между смежными и между разобщенными в пространстве и времени событиями, а также общих закономерностей исторического развития ансамблей геологических систем и процессов. Сложность геологических объектов, относящихся к системам с разным уровнем организации, многообразие возможных связей и взаимодействий между ними, неоднозначность генетических интерпретаций и ряд других факторов определяют гипотетический («возможно-вероятный», по Ю. А. Косыгину, 1970) характер любых геоисторических реконструкций. При этом их достоверность во многом определяется тем, насколько корректно вводятся представления о временных свойствах и отношениях и насколько точно определяются временные параметры геологических событий. Очевидно, что исторические реконструкции немыслимы без знаний возрастных отношений между событиями (их протоколами) и временных свойств (возраст, длительность) самих событий, для исторических реконструкций необходима метрика геологического времени (т. е. отградуированная с помощью эталонных часов временная координата, охватывающая весь период развития Земли) и методика ее практического использования.

Как видно из приведенного краткого обзора, временные представления играют весьма существенную роль в генетических и ретроспективных исследованиях, причем и в том и в другом случае должны использоваться как качественные, так и количественные оценки временных свойств и отношений. Генетическое и ретроспективное направления исследований развиваются во всех геологических дисциплинах независимо от того, к какому уровню структурной организации относятся объекты их изучения. Между тем в седиментологии, минералогии и петрографии изверженных и метаморфических пород, а также руд, учении о генезисе полезных ископаемых и ряде других дисциплин вопрос о создании и использовании метрики времени практически еще не ставился: специалисты этих областей вполне удовлетворяются определением возрастных отношений между изучаемыми объектами по типу «раньше — позднее».

В настоящее время практически все философские аспекты теории времени обсуждаются на основе концептуального стратиграфического времени (в моих более ранних работах оно фигурирует под названием геологического; неверность употребления этого термина применительно к стратиграфическому време-

ни заметил В. Н. Сакс, которому я, пользуясь случаем, приношу свою искреннюю благодарность). По-видимому, и в будущем главенствующее положение среди всех метрик геологического времени сохранится за метрикой концептуального стратиграфического времени (МКСВ), поскольку именно с ее помощью можно определить возрастное положение любого геологического явления, по крайней мере связанного с породным и минеральным уровнем организации, в общем ходе исторического развития Земли. Стратиграфия изучает пространственно-временные свойства и отношения между геологическими объектами на формационном уровне их организации (Симаков, 1974а). В соответствии с задачами, методами и результатами измерения временных параметров стратиграфических объектов есть смысл выделить в стратиграфии три относительно самостоятельные дисциплины: хроностратиграфию, геохронологию и геохронометрию. В рамках хроностратиграфии и геохронологии достигается более или менее корректное хронологическое упорядочение протоколов геологических событий, возрастные свойства которых и отношения между которыми оцениваются в сравнительных понятиях раньше — позднее, древнее — моложе, более — менее продолжительное. Геохронометрия — наука о количественном измерении стратиграфического времени.

В хроностратиграфии для определения возраста (датировки) геологических событий используется так называемая Международная хроностратиграфическая шкала (МХСШ). Она представляет собой временную координату, отградуированную следами случайно выбранных, разнородных и разномасштабных геологических событий. С помощью этой шкалы можно определять так называемый «относительный» возраст событий и давать приблизительную оценку длительности иерархически соподчиненных («вложенных» друг в друга), а также разноместных, но только разновозрастных событий. По классификации измерительных приборов, предложенной С. Стивенсом (1960), МХСШ занимает промежуточное положение между шкалами наименований и порядка, т. е. обладает меньшей эвристической ценностью, чем, например, шкала Мооса для определения твердости минералов.

В геохронологии используется, точнее, должна использоваться, поскольку ее создание еще не завершено, так называемая Международная геохронологическая шкала (МГХШ). Шкала представляет теоретическую модель, в которой зафиксированные в геологической летописи следы циклически необратимого развития какого-то определенного процесса служат для градуировки координаты геологического времени. В качестве базисного в настоящее время предлагают использовать тектонические, экосистемные, физические и другие процессы, однако можно не сомневаться в том, что в конце концов предпочтение бу-

дет отдано эволюции органического мира, которая в этом аспекте обладает рядом неоспоримых преимуществ (Симаков, 1975а). Геохронологическим единицам в отличие от хроностратиграфических присуще основное свойство естественных мер — эквивалентность. Поэтому с помощью МГХШ достигается не только хронологическое упорядочение, но и сравнительная оценка длительности разобщенных в пространстве и времени событий. По классификации Стивенса МГХШ относится к шкалам интервалов.

В геохронометрии измерение времени будет возможно после создания метрики концептуального стратиграфического времени (МКСВ), которая будет построена на основе МГХШ с введением в нее первоначальной меры. Эта метрика позволит дать точное математическое описание закономерностей развития базисного процесса и количественную оценку временных параметров различных геологических событий. По классификации Стивенса МКСВ относится к шкалам отношений, т. е. к высшему классу измерительных приборов.

Сравнительная характеристика МХСШ, МГХШ и МКСВ, приведенная в таблице, отражает преемственность хроностратиграфии, геохронологии и геохронометрии, отвечающих стадиям развития общей теории измерения стратиграфического времени.

До недавнего времени было принято считать, что в геологии может применяться одна универсальная «хронологическая» шкала или серия параллельных, взаимно дополняющих и уточняющих друг друга шкал, причем предполагалось, что частные шкалы, отображающие циклически необратимое развитие отдельных процессов (например, тектонических, биологических и пр.), имеют лишь вспомогательное значение и со временем будут объединены в комплексную геохронологическую шкалу, с помощью которой можно будет определять временные параметры любых геологических событий.

Мысль о необходимости и возможности создания универсальной метрики геологического времени была декларирована на заре развития геологии (на рубеже XVIII—XIX вв.). Представление о такой метрике соответствовало ньютоновской картине мира с ее концепцией абсолютного, не зависящего ни от чего внешнего времени. Влияние этой концепции на геологов оказалось настолько сильным, что у всех последующих поколений идея универсальной метрики превратилась в своего рода идею фикс, вследствие чего на факты, противоречащие концепции абсолютного времени, не обращали внимания. Попытки создать такую универсальную (далее ЕХШ) шкалу не прекращаются до сих пор. Между тем сейчас подобные представления вызывают возражения по меньшей мере с двух точек зрения.

Фактические материалы не подтверждают возможность вза-

Сравнительная характеристика основных приборов для измерения концептуального стратиграфического времени

	МХСШ	МГХШ	МКСВ
Теоретическая основа	Случайно выбранные протоколы событий, отражающие разномасштабные явления в развитии разнородных геологических систем и биологических процессов	Модель циклически-необратимого развития, построенная по протоколам событий, отражающим объективные закономерности развития одного (базисного) процесса	
Соотношения между одноранговыми единицами на разных отрезках временной координаты	Беспорядочные	Эквивалентные	Эквивалентные
Информация, получаемая в результате практического применения	1. Пространственно-возрастное упорядочение протоколов событий 2. Качественная сравнительная оценка длительности иерархических соподчиненных («вложенных») событий; пространственно разобитых одновозрастных событий	1. Пространственно-временное упорядочение протоколов событий 2. Оценка длительности любых разобитых в пространстве — времени событий в терминах сравнительных понятий	Количественная оценка любых свойств и отношений между событиями
Положение в общей системе измерительных приборов (по С. Ственсу, 1960)	Между шкалами наименований и порядка	Шкала интервалов	Шкала отношений

имно согласовать и синтезировать в ЕХШ признаки развития разнородных природных процессов (тектонических, седиментационных, биологических, радиоактивного распада, инверсий магнитного поля Земли и т. д.), так как границы подразделений, установленные по признакам, фиксирующим в земной коре циклически необратимое развитие одних природных процессов, не совпадают по положению и масштабу с событиями, характерными для других процессов. Подобное явление отличает синоптическую стратиграфическую колонку, выступающую субстанционной основой современной МХСШ. В свою очередь в частных шкалах одноранговые подразделения обладают неодинако-

вым объемом, соотношения между стратиграфическими интервалами, соответствующими единицам шкал, на разных стратиграфических уровнях непостоянны, в разных шкалах не совпадает и количество иерархически соподчиненных подразделений. Наконец, о несводимости разнородных шкал в ЕХШ свидетельствует так называемое пространственное «скольжение» границ, установленных по различным признакам. Все приведенные геологические факты подтверждают давно известную в физике истину: ритмы (циклы) разнородных природных процессов не совпадают ни по частоте, ни по амплитуде.

Вместе с тем концепция ЕХШ вызывает серьезные возражения и в философско-методологическом плане, прежде всего в связи с принципами, заимствованными геологией из ньютоновской концепции «абсолютного» времени — с принципом универсальности метрики и принципом сколь угодно точного измерения времени. Отметим сразу: насколько нам известно, в геологии эти принципы никем явно не формулировались и возможность их применения специально не рассматривалась, однако, судя по высказываниям авторов, занимавшихся обсуждением теории геологического времени (например, Wheeler, 1958), эти положения не разбирались в силу, как представляется авторам, их тривиальности, самоочевидности. В действительности это далеко не так.

Принцип универсальности метрики времени применительно к геологии означает, что независимо от природы и масштаба геологических явлений при характеристике их временных параметров понятие «время» остается неизменным. Из этого следует, что для количественной оценки временных свойств и отношений любых геологических феноменов можно использовать одну метрику и одни единицы измерения длительности, т. е. возможно создание такой метрики времени, которая позволит определять и сравнивать между собой временные свойства и отношения любых явлений, например скорость кристаллизации минералов в граните и накопления осадков в молассоидной формации, длительность формирования рудных залежей и герцинского тектонического этапа, возраст кварцевой жилы в архейских метаморфитах и время проявления в интервале между поздней юрой и ранним мелом тектонических движений, предположим, на Северо-Востоке СССР и т. п.

Признание универсальности временной метрики в геологии и философской концепции абсолютного времени получило особенно широкое распространение в связи с разработкой теории и успехами практического применения радиологических методов определения так называемого «абсолютного» возраста. Принятая (явно по недоразумению) в этих методах элементарная единица измерения (год) создала глубоко ошибочную иллюзию (Симаков, 1974б) возможности использования в геологии той

же системы мер длительности, что и в обыденной жизни и в точных науках. С этими представлениями неразрывно связан еще один методологический принцип, опирающийся на постулат об универсальности свойств времени, не зависящих от уровня организации материи. Этим принципом утверждается возможность сколь угодно точного измерения времени. Он незаметно вошел в теоретический аппарат геологии сравнительно недавно в связи с применением радиологических методов для определения возраста главным образом кайнозойских образований: высокая точность радиоуглеродного метода при анализе непрерывных колонок донных осадков вызвала, естественно, желание экстраполировать эти результаты и на докайнозойскую часть МХСШ, хотя для установления возраста древних образований используются другие радиологические методы (калий-аргоновый, рубидиево-стронциевый и пр.). Согласно этому принципу достижение любой заданной точности измерения времени ограничено лишь степенью совершенства измерительной техники. Нами уже неоднократно было отмечено (Симаков, Оноприенко, 1975; и др.), что принцип сколь угодно точного измерения времени противоречит одному из наиболее фундаментальных положений современной ККГМ — постулату Ч. Дарвина о неполноте (неадекватности) геологической летоисчислительной системы. На обсуждении методологического значения постулата мы остановимся во второй части статьи.

Рассмотрим, не вдаваясь пока в дискуссию по философским аспектам приведенных положений (этому посвящена вторая часть статьи), эмпирические данные и теоретические соображения, которые исключают возможность применения указанных методологических принципов в теории и практике измерения геологического времени.

Для определения временных параметров протоколов минувших событий привлекаются различные методы: биостратиграфический, тектоностратиграфический, радиологический, палеомагнитный и др. Пределы практического использования и разрешающая способность (т. е. детальность, точность получаемых результатов) каждого метода различны. Вместе с тем, в силу специфики процедуры измерения геологического времени, возможности применения всех методов ограничены рядом условий. Это прежде всего наличие общих признаков или свойств у изучаемых явлений и у объектов, которые выступают в качестве субстратной основы метрики. Поэтому бесполезно, например, пытаться опеределять с помощью биостратиграфического метода временные свойства явлений, связанных с процессом выделения рудных компонентов в кварцевой жиле. Столь же бесперспективно и применение, скажем, радиологического метода для оценки длительности существования какой-нибудь биогермы или ископаемого рифа. Другое естественное ограничение разрешающей

способности метода определяется природой эталонного процесса, так как от нее зависит масштаб тех явлений, которые выступают в качестве субстанционной основы элементарных мер метрики. Например, элементарным биохронологическим подразделением является филозопа, охватывающая обычно более или менее мощную пачку слоев, поэтому применять биостратиграфический метод для характеристики свойств и отношений явлений, которые имели место при формировании отдельного слоя, совершенно бесполезно.

Приведенное выше обсуждение идеи о принципиальной возможности построения ЕХШ обратило нас к фактам, свидетельствующим в пользу представления о сложности, многоуровневой организации геологических объектов (Драгунов, 1965; Круть, 1973а). Если признать фундаментальное значение этого положения в современной концептуальной картине геологического мира, то следует считать вообще недопустимым применение в геологии концепции единого универсального абсолютного времени и исключить принципиальную возможность построения ЕХШ. С концепцией многоуровневой организации геологических объектов лучше согласуется предположение о необходимости введения для характеристики временных свойств и отношений между объектами, относящимися к различным уровням структурной организации, многих метрик разнородных концептуальных времен. По-видимому, в будущем геология будет оперировать понятиями минералогического, породного, стратиграфического и планетарного времени, т. е. концептуальными понятиями, представляющими разновидности сложного по своей природе реального времени в геологии (Круть, 1973б). Следует заметить, что перспективы и целесообразность создания метрики планетарного концептуального геологического времени пока совершенно неясны и, насколько известно автору, никем еще не обсуждались.

Любая концептуальная модель реального времени неразрывно связана с той или иной философской концепцией времени, определяющей общий подход к конструированию метрики и ее эвристическую ценность. Существующие трактовки используемого при построении МХСШ понятия «геологическое время» чрезвычайно разнообразны. Рассмотрим философское содержание и методологическое значение бытующих в стратиграфии концепций геологического времени.

Одна из концепций геологического времени наиболее ясно сформулирована в работах Х. Хедберга и Дж. Елецкого. Согласно Х. Хедбергу, «время само по себе неосвязаемо и нематериально» (Hedberg, 1958, с. 1889). Дж. Елецкий утверждает, что абстрактное время до тех пор остается совершенно бесструктурным, принципиально непознаваемым и имеющим поэтому лишь теоретическую ценность, пока оно не будет запол-

нено некоторым видом событий (Jeletzky, 1956). Эти представления почти дословно повторяют идею И. Канта (1966) о том, что вне субъективных ощущений время представляет собой ничто, которое не может быть представлено ни как субстанция, ни как свойство.

На иную концепцию опираются Х. Уилер (Wheeler, 1958, 1959), Г. Я. Крымголец и некоторые другие авторы. По их представлениям, «...имеется единый поток времени, который отражается в событиях, происходящих на Земле... Любое подразделение времени в истории Земли может быть распознано в любой точке земной поверхности, всюду оно оставило свой след... Именно ход времени проявляется и улавливается через стратиграфические подразделения» (Крымголец, 1964, с. 21). В этом утверждении, как мы понимаем, время выступает не формой бытия материи, в которой проявляются свойства ее главного атрибута — движения, а, напротив, движение, развитие, изменение материи обусловлено ходом времени. Такая трактовка соответствует представлениям А. Бергсона (1923), который считал время движущим фактором развития, впрочем, только органической природы. Сторонники же рассматриваемой точки зрения подчиняют детерминирующей власти времени и неорганическую природу, присоединяясь, очевидно, к положению С. Александера: «время есть источник движения» (Alexander, 1927, p. 50). Такое понимание времени было вполне закономерно до конца XIX — начала XX столетия, т. е. в период господства в естествознании ньютоновской концепции «абсолютного» времени, в наши дни оно выглядит по меньшей мере анахронизмом, однако пользуется исключительно широким распространением, чему в немалой степени способствуют представления так называемой абсолютной геохронологии (обсудим ее немного ниже).

Рассмотренные концепции геологического времени, несмотря на принципиальные гносеологические различия, в конце концов опираются на так называемую «философию здравого смысла», которая никак не может понять не только философского, но и естественно-научного утверждения о том, что время, как и его топологические и метрические свойства, зависит от специфики развития материальных объектов, от их принадлежности к различным уровням структурной организации материи, что, будучи абсолютным как форма бытия материи, время относительно в своих конкретных проявлениях, что за базис метрики концептуального времени может быть принят любой реальный процесс, если он удовлетворяет ряду необходимых требований, что, наконец, принимая за базис метрики различные процессы, можно получить множество математически несовместимых метрик времени. Всего этого не желает принимать «здравый смысл», и неудивительно, что «здравомыслящие» ученые вольно или невольно приходят к метафизике или к субъективному идеализму.

Исходная позиция сторонников второй точки зрения состоит в убеждении о возможности использования в геологии «физического» (гомогенного, непрерывного и однородного) времени (Борукаев, 1972), т. е. концептуального времени современной физики (КФВ). Основанием для такого подхода служит то обстоятельство, что при конструировании метрики КФВ и при определениях «абсолютного» возраста геологических объектов используются якобы одни часы — атомные. Это дает повод утверждать, что в геологии радиометрический метод «является единственным путем к достижению абсолютного измерения времени» (Бубнов, 1934, с. 95) и что заранее можно предсказать, по выражению Х. Уилера (Wheeler, 1958), бесплодность попыток создания подразделений геологического времени, отличного от обыденного времени с его искусственным подразделением на минуты, часы, дни и годы.

Между тем используемые в метрике КФВ «атомные» часы характеризуют время вполне определенного уровня организации материи — атомарного, и принятие «атомного стандарта» за базис метрики КФВ прагматически вполне оправдано. Однако отождествление «атомного времени» с философской категорией времени ошибочно, так как приводит к абсолютизации одного вида времени и тем самым к отрицанию специфики проявления времени как формы бытия материи на разных уровнях ее организации, а в конечном счете означает возврат к концепции ньютоновского «абсолютного» (не зависящего ни от чего внешнего) времени.

Непоследовательность, ошибочность методологических позиций исследователей приводит к постановке неразрешимых проблем, которые не обошел ни один из авторов опубликованных за последние 20—25 лет статей и монографий (более 500) по общим проблемам стратиграфии. Не имея возможности в кратком обзоре не только разобрать, но даже перечислить все эти проблемы, попытаемся воспроизвести тот принципиальный подход, который ведет к их постановке.

Отправным пунктом в трактовке времени как философской категории, независимо от гносеологических позиций авторов, является, во-первых, признание адекватности понятий «геологическое» и «физическое» время и, во-вторых, убежденность в абсолютности и условности единиц измерения времени. Из этого следует, что в геологии можно пользоваться обыденным понятием времени и должно стремиться к выражению временной определенности геологических явлений в привычных понятиях года или, учитывая громадную длительность геологических процессов, миллионов лет. Далее наблюдается дивергенция логической схемы: обосновываются преимущества абсолютной геохронологии или утверждается искусственная (условная) природа любых подразделений геологического времени и его относи-

тельный характер. Посмотрим, какие проблемы возникают при логическом развитии второго направления.

Год представляет собой период времени, отвечающий полному обороту Земли вокруг Солнца. Поскольку Земля всегда вращалась вокруг Солнца, 4,5—5 млрд. лет, прошедших с момента ее возникновения, можно представить как систему концентрически вложенных друг в друга теоретических гиперповерхностей, охватывающих всю Землю. Эти гиперповерхности обладают свойством изохронности. Но они имеют один досадный недостаток — никак физически не выражены в документах геологической летописи. Поэтому возникает необходимость в выделении особой категории — так называемых хроностратиграфических подразделений. Х. Хедбергом они понимаются как «...материальные подразделения горных пород, каждое из которых включает все породы, возникшие в течение определенного интервала геологического времени». Поскольку «единственным действительным свойством хроностратиграфического подразделения является временная эквивалентность или идентичность общего возраста относящихся к нему слоев», постольку эти подразделения «в принципе... оказываются совершенно независимы от всех физически вещественных свойств горных пород» (Hedberg, 1958, p. 1889—1890). Х. Хедберг считает, что хроностратиграфическое подразделение может совпадать с каким-нибудь конкретным геологическим телом (т. е. собственно стратиграфическим подразделением) только в его стратотипе. Вещественные границы этого тела-эталона могут рассматриваться как хроностратиграфические лишь «до тех пор, пока мы уверены в постоянстве их временного значения. Когда они исчезают либо явно начинают перескаты временные горизонты (которые не имеют в земной коре физического выражения! — К. С.), мы должны отказаться от них и обратиться к одному или ко всем другим имеющимся критериям временной эквивалентности, чтобы проследить одни и те же хроностратиграфические горизонты как можно дальше, независимо от того, что может случиться с теми вещественными особенностями, которые совпадали с первоначально установленными в типовом разрезе границами» (Hedberg, 1958, p. 1891).

Эти представления встречают поддержку и сочувствие (Wheeler, 1958; Борукаев, 1972), хотя, как понимает и сам Х. Хедберг, который относит хроностратиграфические подразделения к категории субъективных понятий, хроностратиграфическая классификация в этом случае лишается какого бы то ни было объективного содержания. Х. Уилер (Wheeler, 1959) полагает, что в хроностратиграфии границы между подразделениями должны устанавливаться произвольно, поскольку сами эти подразделения могут считаться всемирно распространенными произвольными частями общего стратиграфического простран-

ва — времени. Ясно, что признание субъективной природы шкалы геологического времени и условности ее подразделений лишает шкалу эвристического значения.

Представление об идеально изохронных гиперповерхностях «абсолютного» времени служит поводом для бесконечной дискуссии вокруг антиномии синхроничности — гомотаксальности разноместных стратиграфических последовательностей и изохронности — диахронности их границ. Впервые эта проблема была со всей остротой поставлена Г. Спенсером и Т. Гексли. Позднее Х. Уилер и Э. Бисли (Wheeler, Beesley, 1948) сформулировали так называемый «закон временной трансгрессии», утверждающий разновременность литологических границ. Совсем недавно та же проблема вновь была поднята в дискуссии Г. Скотта (Scott, 1965) и Дж. Уотерхауза (Waterhouse, 1966) в связи с обсуждением сравнительной точности биостратиграфических и радиологических методов датировки геологических событий. В советской литературе уже много лет идет и, судя по статье А. Е. Мирошникова (1974), еще нескоро прекратится спор об изохронности — диахронности границ свит.

В этих дискуссиях привлекают внимание следующие обстоятельства. Во-первых, нельзя признать корректным, что для аргументации используются данные о скоростях современных геологических процессов, которые характеризуют породный уровень, тогда как в стратиграфии исследуется формационный уровень, на котором действуют законы, не сводимые к законам породного уровня. Во-вторых, спорящие стороны пытаются доказать преимущества, с точки зрения степени точности, возрастных датировок, полученных с помощью тех или иных (палеонтологического, радиологического, палеомагнитного и т. д.) методов. Такая постановка вопроса кажется более чем странной: ведь никто не спорит о том, чем *точнее* — ярдами и милями или метрами и километрами — можно измерить расстояние от Москвы до Магадана! В данном случае может быть правомерен вопрос о том, чем *удобнее*, но именно он при обсуждении проблемы «гомотаксис или синхронизм» не ставится.

Упомянем еще одну извечную проблему, возникающую в связи с представлениями о единстве физического и геологического времени, — проблему адекватности отражения в геологической летописи прошедшего времени. Эта проблема имеет по меньшей мере два аспекта. Первый касается принципиального решения вопроса о том, адекватно или неадекватно отражает геологическая летопись события и время миновавших эпох. Поскольку мы по вполне понятным причинам не в состоянии экспериментально проверить альтернативные решения, они могут быть введены в теоретико-познавательный аппарат геологии лишь в виде аксиомы или постулата. Рассмотренные концепции опираются на постулат Бюффона об адекватности геологической летописи.

Второй аспект проблемы касается терминологического разграничения «полных» и «неполных (адекватно и неадекватно отражающих прошедшие события и время) конкретных геологических тел. Решения данного вопроса на базе постулата Бюффона приводят к невероятному усложнению стратиграфической терминологии, загромаждающей такими операционально бесполезными терминами, как тейльзона и биозона, голосом и голостром и т. д.

Рассмотрим правомерность тезиса о единстве «атомного» базиса метрик КФВ и КГВ и принципиальной возможности использования в геологии единиц измерения физического времени.

Под концептуальным временем понимается теоретическая модель, более или менее адекватно отражающая свойства реального времени (Мостепаненко, 1969). За базис модели принимается конкретный физический процесс. Введение единицы измерения и строгое математическое выражение специфики развития этого процесса превращают модель в метрику концептуального времени. В качестве базиса метрики КФВ использовался процесс вращения Земли вокруг Солнца и вокруг своей оси. В 1956 и 1964 г. были заключены международные соглашения о замене астрономического (иногда его называют гравитационным) КФВ атомным. При конструировании новой метрики в качестве привилегированного был избран процесс колебаний одной из оболочек атома цезия. Подчеркнем, что замена стандарта вызвана соображениями удобства практического использования, а отнюдь не стремлением повысить точность измерения какого-то «абсолютного» времени. Оба базисных процесса КФВ, несмотря на существенные различия, обладают по меньшей мере двумя общими чертами, определяющими специфику КФВ и несводимость его к другим видам концептуального времени.

Первая особенность состоит в том, что за базис метрики принимается периодическое изменение пространственного положения объектов, сохраняющих тождественность самим себе. Теоретической предпосылкой использования этих процессов в качестве привилегированных служит представление об их бесконечной повторимости и принципиальной возможности учета возмущающих воздействий, нарушающих регулярность этих процессов. Последнее предположение имеет особое значение, так как на нем основан постулат об абсолютно точном измерении, который служит гарантией корректности применения всего логико-математического аппарата классической физики (Свиденко, 1968).

Вторая особенность процессов заключается в том, что они позволяют без дополнительных априорных допущений создавать модели только актуального и перспективного времени. Возможность их использования для придания временной определен-

ности минувшим событиям (создание метрики прошедшего) ограничена длительностью сохранения общих физических условий развития этих процессов. Иными словами, построение на их базе ретроспективной модели концептуального времени требует введения постулата о неизменности их топологических свойств, а также о возможности учета или элиминации любых возмущающих влияний на ход этих процессов. Такой постулат в неявной форме предполагает систему абсолютного отсчета времени, что позволило бы корректировать метрические свойства ретроспективной модели концептуального времени. Ясно, что это ограничивает практические возможности ретроспективного использования модели КФВ.

Базисом радиометрической модели КГВ служит процесс необратимого изменения состояния атомов радиоактивных элементов. Принципиальная возможность его использования, как и всех необратимых процессов, в качестве базиса метрики концептуального времени опирается на общепризнанное положение о соответствии каждому состоянию материальной системы определенного интервала времени и наоборот (Свечников, 1971).

Ясно, что процесс изменения состояния атома и процесс сохранения одной из его оболочек при тождественности себе периода колебаний кардинально отличны и поэтому аргумент об идентичности базисов и метрик КФВ и КГВ не более чем недоразумение. Впрочем, на первый взгляд это не может служить основанием для отказа от применения в геологии единиц измерения физического времени. Сейчас они широко используются не только в радиометрической, но также в палеомагнитной и ритмо-космологической (этапо-ритмостратиграфической, Зубаков, 1971) моделях КГВ.

Радиометрическая модель КГВ опирается на постулат постоянства периода полураспада радиоактивных элементов. Экспериментальная проверка постулата, естественно, невозможна, но есть основания полагать, что во всяком случае мощные магнитные поля (Мартьянов, 1968) и изменение скорости вращения Земли оказывают существенное влияние на ход атомных часов, поэтому более правомерным кажется предположение о константности среднестатистической длительности периода полураспада радиоактивных элементов. На основании подобного предположения строится ритмо-космологическая модель (Зубаков, 1971).

Вместе с тем, если признать, что в радиометрической, ритмо-космологической и других моделях КГВ, опирающихся на периодические процессы, можно оперировать лишь среднестатистическими данными о продолжительности циклов, то следует принять и вывод о принципиальной невозможности выражения длительности геологического времени в годах: не имея внешней шкалы отсчета, нельзя установить, в какую (большую или меньшую) сторону и насколько отклонилась действительная мера

каждого конкретного цикла от его среднестатистического значения. Следовательно, в геологии оказывается неприменимым постулат об абсолютно точном измерении и логико-математический аппарат классической физики. Это, конечно, не значит, что мы не сможем, используя аппарат дискретной математики, получать абсолютно точные значения геологического возраста. Но при этом для каждой модели КГВ надо разработать особую систему мер.

Приведенные соображения показывают, что модная в наши дни радиологическая модель КГВ в корне отличается от модели современного (атомного) КФВ и что ни в одной из существующих моделей КГВ в принципе неправомерно использование единиц измерения «обыденного» времени.

Специфические черты геологического времени более или менее удачно отмечали многие авторы, утверждавшие принципиальную несводимость понятий «физическое» и «геологическое» время. Наиболее полно свойства реального геологического времени, являющегося комплексной характеристикой нелинейных взаимодействий многих естественных систем разного уровня организации, очерчены в работах И. В. Крутя (1973а, б). нас будут интересовать лишь те особенности, которые определяют специфику реального геологического времени на формационном уровне, так как его концептуальная модель используется в стратиграфии.

Неоднородное строение литосферы, фиксирующее результаты давно миновавших явлений, еще Стенго рассматривал как свидетельство о прошедшем геологическом времени. Ю. А. Косыгин (1970, с. 22) заметил: «ни хода геологической истории, ни протекания процессов в геологическом прошлом мы не можем непосредственно наблюдать», поэтому, «рассматривая статическую структуру (земной коры. — К. С.), мы можем геологические тела истолковать в качестве результатов событий геологического прошлого, трактуя последовательность тел как последовательность событий». В связи с этим ряд авторов считают главной особенностью КГВ его логическую природу. Так, Д. Киттс пишет: «Историческое время не ощутимо для непосредственного восприятия. Поскольку оно лежит за пределами наших чувств, мы не можем считать его простым продолжением в прошлое времени в обычном смысле. У исторического времени имеются свои особенности, которые обусловлены теми допущениями и приемами, с помощью которых мы конструируем это понятие... Исторические события и связующие их временные отношения должны быть восстановлены посредством умозаключений» (Kitts, 1966, p. 127).

Логико-теоретический характер конструирования модели КГВ очевиден, но вряд ли его можно рассматривать в качестве отличительной черты реального геологического времени — по-

строение любой модели концептуального времени подчиняется определенным логическим схемам (Ивин, 1969, 1972). Нам представляется, что в операциональном аспекте между моделями КГВ и КФВ нет принципиальной разницы, хотя при создании каждой из них используется специфичная для модели логика. Подчеркивание логико-теоретического аспекта модели КГВ имеет смысл лишь для объяснения ее вероятностного характера, поскольку в геологии ретроспективные модели вообще связаны с исходными статическими системами одно-многозначным соответствием, что, однако, не раскрывает специфические свойства реального геологического времени.

Некоторые авторы (Бубнов, 1972; Schindewolf, 1960, 1970) видят специфику геологического времени в том, что в геологии понятие «время» определяется биологически и не имеет ничего общего с физическим понятием «времени». «Наша хронологическая шкала времени в геологии, — пишет С. Н. Бубнов, — руководствуется продолжительностью жизни биологических единиц: видов, родов и т. д.» (Бубнов, 1972, с. 26). Из этих утверждений следует, однако, лишь тот факт, что в общепринятой ныне шкале геологического (стратиграфического) времени в качестве базиса модели был выбран не тот процесс, что при конструировании метрики КФВ, однако никакие специфические особенности собственно геологического времени при этом не раскрываются и не указываются причины для дискриминации всех остальных процессов, следы которых зафиксированы в геологической летописи. Палеобиологическая модель КГВ используется потому, что при современном уровне развития геологии именно она позволяет дать наиболее адекватное отражение свойств реального геологического (стратиграфического) времени, потому, что признаки и ретроспективная модель эволюции удовлетворяют требованиям, предъявляемым к базису метрики (Симаков, 1977), наконец, потому, что эта модель наиболее удобна в практическом употреблении.

Признание возможности разработки разнообразных моделей КГВ имеет большое методологическое значение, так как снимает пресловутую «проблему гомотаксиса». Действительно, принимая за базис метрики КГВ ретроспективные модели отличных друг от друга процессов, получим, естественно, неодинаковые «масштабные сетки» КГВ, линии которых, согласно классическим законам ритмики разнородных процессов, будут взаимно пересекаться. Такое взаимное пересечение границ конкретных геологических тел, выделенных по различным признакам (литологическим и структурным, палеобиологическим и геофизическим и пр.), и наблюдается в действительности. Трансгрессирующий во времени признак в каждом конкретном случае определяется тем, признаки какого процесса выбраны для маркировки геологического времени. «Ни одно из свойств (геологичес-

кого — К. С.) времени, — как справедливо подчеркивает Б. С. Соколов (1971, с. 158), — не может быть обнаружено помимо физических документов геологии, помимо развития материальной субстанции». Развитие этого положения позволяет сделать по меньшей мере два принципиально важных с методологической точки зрения вывода.

Первый вывод утверждает принципиальную невозможность использования в геологии представлений о пространстве и времени, взаимно независимых друг от друга. Информация о прошедшем геологическом времени заключена в неоднородном строении литосферы, что выражается анизотропией структуры, состава и других свойств, более или менее резко очерченных, но всегда ограниченных выделов земной коры. Если это так, то ни один материальный признак, интерпретируемый в качестве индикатора прошедшего времени, не имеет глобального распространения и всегда пространственно ограничен. Из этого следует, что в геологии мы можем говорить о едином геологическом пространстве — времени.

Этот вывод в общей форме был сделан еще в 1885 г. В. И. Вернадским, который писал (1966, с. 112): «Бесспорно, что время и пространство отдельно в природе не встречаются, они не делимы. Мы не знаем ни одного явления, которое не занимало бы части пространства и части времени. Только для логического удобства представляем мы отдельно пространство и отдельно время... Что же это за части неразделимые — чего? Очевидно, того, что только и существует, это — материи». В другой работе (1932, с. 524) он указывал: «очевидно, раз пространство и время являются частями, проявлениями и разными сторонами одного и того же неделимого, то нельзя делать выводы о времени, не обращая внимания на пространство».

Методологическое значение этого вывода можно продемонстрировать на следующем примере. Согласно концентрически-оболочечной модели строения литосферы, предложенной Стено и еще до сих пор используемой в стратиграфии, в отдельных обнажениях или регионах интервалам распространения зональных ископаемых соответствуют только «тейльзоны», а истинный объем зоны (т. е. «биозона») «устанавливается лишь путем сравнения многочисленных и по возможности далеко отстоящих разрезов» (Вернадский, 1932, с. 525). И совершенно иные представления о взаимоотношениях конкретных геологических тел и истинном объеме зон, а также методики заполнения «зияний» между подразделениями МСШ (Симаков, 1975б) возникают в том случае, если принята линзовидно-черепичная модель строения литосферы, отвечающая концепции единого пространства — времени.

Второй вывод имеет не только методологическое, но и общепhilosophическое значение. Его суть состоит в том, что шкала (ка-

лендарь, метрика) КГВ в принципе не может быть по своей природе сугубо условной, как полагают многие авторы, так как представление о геологическом времени не может быть получено иначе, чем из анализа материальных признаков. Используя признаки, представляющие динамику различных процессов, можно получить неодинаковые по внутренней структуре и метрическим свойствам модели КГВ (палеобиологическую и радиологическую, палеомагнитную и ритмо-космологическую и т. д.), но они все будут отражать реальную, верифицируемую структуру анизотропного по тому или иному материальному признаку строения литосферы. Это не значит, что в создании шкалы (календаря, метрики) не участвует конвенционный ингредиент (например, при фиксации границ эталонных стратиграфических подразделений, см. Соколов, 1974), но он носит тривиальный характер (Грюнбаум, 1969) и не определяет, вопреки мнению ряда авторов (Леонов, 1973), ни содержательный, ни операциональный аспект конструирования метрики КГВ.

Непрерывно-прерывистый характер процессов формационного уровня во всей истории Земли, а также ритмически-стадийное развитие разномасштабных геосистем (Круть, 1973а, б) определяют естественную, точнее, объективную природу подразделений модели КСВ. Это свойство реального геологического времени выявляется благодаря направленному изменению и палоченной на него циклической повторяемости сходных модальностей каждого класса признаков. Универсальность этого циклически необратимого хода процессов, которые могут служить базисом метрики КГВ, обуславливает объективность ее иерархически соподчиненных подразделений. Вследствие этого проблема их естественности — искусственности отпадает.

Еще одна специфическая черта реального геологического (стратиграфического) времени формационного уровня — его статистическая природа. Это представление опирается на постулат Ч. Дарвина о неполноте (неадекватности) геологической летописи.

Суть постулата в том, что не все события, происходившие на породном уровне и приводившие к возникновению каждого конкретного объекта формационного уровня, отражены в геологической летописи, из чего вытекает, что и не все физическое время, которым мы оперируем при характеристике процессов породного уровня, зафиксировано в ней. Следовательно, «физическое» и «геологическое» время, так как одно регулируется динамическими, а другое статическими законами, не сводимы друг к другу (Драгунов, 1965).

В полной мере значение этого постулата, сформулированного более 100 лет назад, раскрывается лишь в наши дни, в связи с применением системно-структурного подхода к анализу геологических явлений. Не останавливаясь на разборе всех следствий

из постулата Дарвина, отметим лишь наиболее рельефно демонстрирующие его методологическую роль в стратиграфии и геохронометрии. Принятие постулата лишает смысла набор терминов, с помощью которых пытаются отразить неодинаковое временное содержание разных подразделений (эпиболы, хронозоны, тейльзоны, литосомы и т. п., полный перечень — 94 термина — см. Вернадский, 1932). Отпадают и рассуждения о том, какая — $1/5$, $1/20$, $1/40$ или $1/90$ — часть времени зафиксирована в геологической летописи. Наконец, полностью отвергаются редуccionистские попытки применения в метрике КГВ единиц измерения обыденного, или физического, времени.

Приведенный анализ различных концепций геологического времени показал, что возникновение многих антиномий (естественности — искусственности стратиграфических подразделений, их границ и самой шкалы геологического времени, гомотаксальности — синхроничности границ и т. п.), конвенциональный подход к созданию шкал и невероятное усложнение терминологии обусловлены принятием ньютоновской или бергсоновской трактовки категории времени в качестве методологической основы.

Перспективы дальнейшего развития теории измерения времени связаны с последовательным использованием в качестве методологической основы концепции единого геологического пространства — времени. Признание его несводимости к физическому пространству — времени и конструирование моделей КГВ с учетом общей картины геологического мира и специфики реального геологического времени на разных структурных уровнях позволит, как нам представляется, подойти к созданию системы метрик КГВ, в которых корректно введено не понятие времени, а его параметр.

ЛИТЕРАТУРА

- Бергсон А. Длительность и одновременность. Петроград, 1923.
Борукаев Ч. Б. Проблема общей геохронологической шкалы декабря.— Геол. и геофиз., 1972, № 1.
Бубнов С. Н. Основные проблемы геологии. М., 1934; 1972.
Вернадский В. И. Проблема времени в современной науке.— Изв. АН СССР. Отд. ест. и мат. наук. 7-я серия, 1932, № 4.
Вернадский В. И. Время.— Вopr. философии, 1966, № 12.
Грюнбаум А. Философские проблемы пространства и времени. М., 1969.
Драгунов В. И. Геология и изучение элементов, структуры и уровней организации вещества.— Материалы к совещ. «Общие закономерности геол. явлений». Л., 1965, вып. 1.
Зубаков В. А. О пространственно-временных отношениях в стратиграфии.— Тр. ВСЕГЕИ, 1971, т. 177.
Ивин А. А. Логические теории времени.— Вopr. философии, 1969, № 3.
Ивин А. А. Аксиоматические теории времени.— В кн.: Логика и эмпирическое познание. М., 1972.
Кант И. Сочинения. М., т. 6, 1966.
Косыгин Ю. А. Методологические вопросы системных исследований в геологии.— Геотектоника, 1970, № 2.

- Круть И. В.** Исследование оснований теоретической геологии. М., 1973а.
- Круть И. В.** О факторах и компонентах земного планетного времени.— В кн.: Чтения памяти Л. С. Берга, XV—XIX, 1967—1971. Л., 1973б.
- Крымгольц Г. Я.** О значении некоторых понятий в стратиграфии.— Тр. ВСЕГЕИ, 1964, вып. 102.
- Леонов Г. П.** Основы стратиграфии. М., т. 1, 1973.
- Мартыанов Н. Е.** Энергия Земли. Новосибирск, 1968.
- Мирошников А. Е.** Старые противоречия и ошибки нового проекта стратиграфического кодекса СССР.— Геол. и геофиз., 1974, № 1.
- Мостепаненко А. М.** Проблема универсальности основных свойств пространства и времени. Л., 1969.
- Свечников Г. А.** Причинность и связь состояний в физике. М., 1971.
- Свириденко В. М.** Проблема «точного измерения» в связи с эволюцией понятия физической величины.— В кн.: Гносеологические аспекты измерений. Киев, 1968.
- Симаков К. В.** Стратиграфия, геохронометрия и геохронология.— Тр. СВКНИИ ДВНЦ АН СССР, 1974а, вып. 62.
- Симаков К. В.** Время и стратиграфия. В кн.: Методол. вопр. геол. наук. Киев, 1974б.
- Симаков К. В.** Проблема геологического времени.— В кн.: Геол. исследования на Северо-Востоке СССР. Магадан, 1975а. (Тр./СВКНИИ ДВНЦ АН СССР; Вып. 68).
- Симаков К. В.** Международная стратиграфическая шкала, календарь и метрика геологического времени.— Изв. АН СССР. Сер. геол., 1975б, № 4.
- Симаков К. В.** Теоретические основы подразделения геологического времени.— Геол. и геофиз., 1977, № 4.
- Симаков К. В., Оноприенко В. И.** Проблема построения метрики времени в геологии.— В кн.: Применение математич. методов и ЭВМ при решении типовых геол. задач. Новосибирск, 1975.
- Соколов Б. С.** Биохронология и стратиграфические границы.— В кн.: Пробл. общей и региональной геол. Новосибирск, 1971.
- Соколов Б. С.** Периодичность (этапность) развития органического мира и биостратиграфические границы.— Геол. и геофиз., 1974, № 1.
- Стивенс С. С.** Математика, измерение, психофизика.— В кн.: Экспериментальная психология. М., 1960, т. 1.
- Alexander S.** Space, time and deity. London, 1927.
- Hedberg H. D.** Stratigraphic classification and terminology.— Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., 1958, vol. 42, N 8.
- Jeletzky J. A.** Paleontology, basis of practical stratigraphy.— Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., 1956, vol. 40, N 4.
- Kitts D. B.** Geologic time. — J. Geol., 1966, vol. 74, N 2.
- Schindewolf O. H.** Stratigraphische Methodik und Terminologie.— Geol. Rundschau, 1930, Bd 49, N 1.
- Schindewolf O. H.** Stratigraphie und Stratotypus. Mainz. Vert. Acad. Wissenschaft Liter., 1970.
- Scott G. H.** Homotaxial stratigraphy. — N. Z. J. Geol. Geophys., 1965, vol. 8, N 5.
- Waterhouse J. B.** Time in stratigraphy.— N. Z. J. Geol. Geophys., 1966, vol. 9, N 4.
- Wheeler H. E.** Time — stratigraphy.— Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., 1958, vol. 42, N 5.
- Wheeler H. E.** Stratigraphic units in space and time.— Amer. J. Sci., 1959, vol. 257, N 10.
- Wheeler H. E., Beesley E. M.** Critique of the timestratigraphic concept.— Bull. Geol. Soc. America, 1948, vol. 59, N 1.

ВРЕМЕННЫЕ ПОРЯДКИ

Время, которое доступно изучению, есть, как хорошо показал М. Бунге (1970), некоторая функция изменений, происходящих в объектах. Изучая время, мы исследуем два его достаточно независимых аспекта — длительность событий и их последовательность (Чудинов, 1968, 1974; Аскиц, 1969; Матвеев, 1976; и др.). В разных конкретных науках в зависимости от целей исследования отдают обычно предпочтение одному из аспектов единого времени. По нашему мнению (которое мы не будем здесь обосновывать), в геохронологических исследованиях главным является установление временной последовательности. Подобного мнения придерживаются и современные специалисты по философии естествознания, считающие, что время-последовательность несет более полную информацию о свойствах материального мира, чем время-длительность (Мостепаненко, 1971, 1973, 1974, 1975).

Время, рассматриваемое как математическое многообразие, обладает свойствами, среди которых можно выделить теоретико-групповые (симметричные) и топологические. На теоретико-групповых свойствах мы останавливаться не будем. Среди топологических свойств¹ разные авторы (Аугустынек, 1970, 1973а, б; Егоров, 1976; Любицкая, 1968; Мостепаненко, 1971, 1973, 1974, 1975) называют одновременность, непрерывность, связность, упорядоченность, однонаправленность, необратимость, неразветвленность. Здесь мы рассмотрим только временную упорядоченность.

Упорядочить события во времени — значит определить на множестве событий отношения, выражаемые понятиями типа «раньше», «позже», «одновременно», «предшествует», «следует за», «прошлое», «настоящее», «будущее», «лежит между каки-

¹ Напомним, что некоторое свойство называется топологическим, если оно не изменяется при топологических преобразованиях (гомеоморфизмах) — взаимно однозначных и непрерывных в обе стороны отображениях одного топологического пространства на другое. Любое множество можно превратить в топологическое пространство, введя в нем какую-либо топологию (Куратовский, 1966; Александров, Пасынков, 1973; и др.).

ми-то событиями» и т. д., т. е. вычленить три основных, существенно различных и несводимых друг к другу типа временного порядка. Установить временную последовательность — значит определить на множестве событий отношение порядка. Чтобы избежать неясности изложения, приведем некоторые, имеющие отношение к понятию порядка, сведения из теории бинарных отношений. При этом будем опираться на книгу Ю. А. Шрейдера (1971), используя его терминологию с точностью до обозначений.

Отношение R на множестве X называется строгим порядком, если оно антирефлексивно, транзитивно и асимметрично, т. е. 1) ни для какого $x \in X$ не выполнено xRx ; 2) если xRy и yRz , то выполнено xRz ; 3) если выполнено xRy , то невозможно yRx . Первые два свойства составляют определение строгого порядка, третье следует из них. Множество X с заданным на нем отношением строгого порядка называется упорядоченным множеством. Отношение строгого порядка называется совершенным строгим порядком, если для всякой пары не совпадающих элементов x и y из X верно либо xRy , либо yRx .

Отношение R на множестве X называется нестрогим порядком, если оно рефлексивно, транзитивно и антисимметрично, т. е. 1) выполнено xRx ; 2) если xRy и yRz , то выполнено xRz ; 3) одновременное выполнение xRy и yRx означает, что $x=y$. Нестрогий порядок называется совершенным, если для любой пары x , y верно либо xRy , либо yRx . Примером строгого порядка на числовой прямой является отношение «меньше» ($<$), нестрогое — отношение «не меньше» (\geq).

Множество с совершенным порядком (строгим или нестрогим) линейно упорядочено, множество с отношением порядка, которое не является совершенным, — частично упорядочено. В частично упорядоченном множестве имеются несравнимые элементы, для которых отношение порядка не определено (в линейно упорядоченном множестве такие элементы отсутствуют).

Временной порядок, задаваемый отношением «раньше или одновременно»

Во временной последовательности, пользуясь отношением «раньше» (оно также является экспликацией отношений «предшествует во времени», «старше»), можно установить строгий или нестрогий порядок в зависимости от того, присоединять ли или не присоединять к этому отношению отношение «одновременно» (или его эквивалент «одновременно»). Очевидно, что на уровне строгого порядка событие x не может быть раньше (или позже) самого себя, т. е. исключена возможность определения одновременных событий. Последнее является важнейшим требо-

ванием, предъявляемым к временному упорядочению в геологии. Поэтому строгий временной порядок мы определим как заданный отношением «раньше или одновременно» (отношение «позже или одновременно» и его эквиваленты задают порядок, обратный рассматриваемому, и поэтому не требуют специального анализа). Из определения нестрогого порядка следует, что событие x может считаться одновременным самому себе. Совместное рассмотрение отношений «раньше» и «одновременно», как полагают физики, ведет к серьезным гносеологическим трудностям, так как «...логика отношений «раньше — позже» отличается от логики отношений одновременности. В понятии одновременности (или неодновременности) содержится оценка событий, которая зависит от системы, от внешней среды» (Яворский, Деллаф, 1974, с. 153). Это связано с онтологическим статусом одновременности — для малых (в сравнении со скоростью света) скоростей одновременность определяется лишь на уровне точечных событий (Мицкевич, 1977).

Для анализа свойств временных порядков во многих случаях удобно использовать широко применяемые в работах по специальной теории относительности диаграммы Минковского (Бом, 1967; Тейлор, Уилер, 1971; и др.). Мир геологии соответствует макромиру физики и является пьютоновским, поэтому мы используем диаграмму Минковского как некоторую аналогию, смысл которой будет выявлен далее.

На рис. 1 в координатах x (одна из пространственных координат) и t (время) приведено двумерное сечение четырехмерного пространственно-временного континуума. Точка O есть выделенное событие (начало отсчета), относительно которого устанавливается временной порядок. Для любых двух событий внутри «светового конуса» (для областей «абсолютного прошлого» и «абсолютного будущего») установлено отношение «раньше» («позже») или отношение «одновременно». Таким образом, «световой конус» выделяет на множестве событий линейно упорядоченную временную последовательность (с отношением совершенного нестрогого порядка). Для событий, располагающихся в «абсолютно безразличных областях», эти отношения не определены и полностью зависят от выбора системы отсчета.

Внутри «светового конуса» возможно установить изоморфизм между временной последовательностью и причинно-следственной цепью (возможность такая, конечно, существует лишь принципиально, реально причинно-следственные цепочки, особенно для событий, находящихся далеко в прошлом, восстанавливаются лишь в редких случаях): событие, имевшее место раньше, может служить причиной другого события; события одновременные не могут находиться в причинно-следственной связи.

В теории относительности при обращении к диаграммам Минковского (Бом, 1967; и др.) говорят, что события внутри «све-

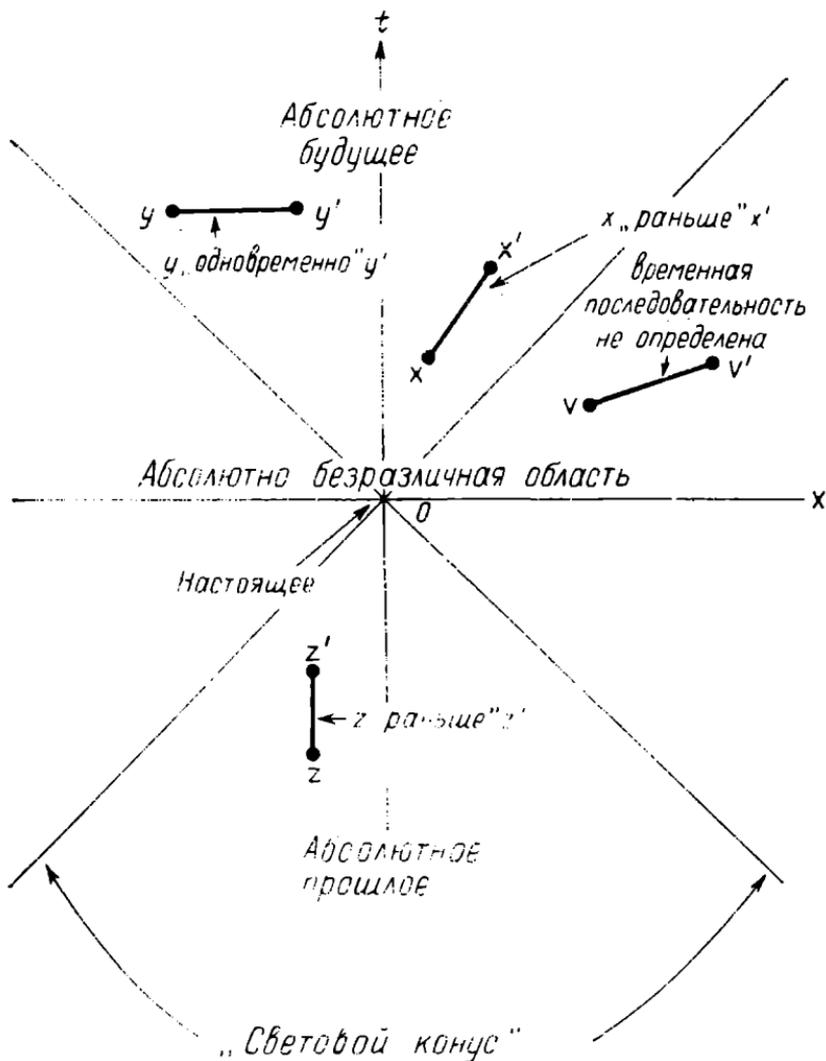


Рис. 1. Диаграмма Минковского

«Светового конуса» соединены временноподобными, а события в «абсолютно безразличных областях» (т. е. вне «светового конуса») — пространственноподобными интервалами. Примем эту терминологию и следствия, которые вытекают из этих представлений. Разница между временноподобными и пространственноподобными интервалами инвариантна для всех наблюдателей, т. е. не зависит от выбора системы отсчета (если два события соединены временноподобным интервалом в какой бы то ни было системе отсчета, то не может быть такой системы, в кото-

рой они были бы соединены пространственноподобным интервалом). Поэтому временная последовательность событий внутри «светового конуса» является абсолютной: если в одной системе отсчета событие x наступило раньше события x' , то это верно и для любой другой системы (длительность событий, т. е. величина временноподобных интервалов, существенно зависит от системы отсчета, относительных скоростей, наличия тяготеющих масс, именно в этом проявляется относительность времени в физике). В «абсолютно безразличной области» любое событие v может в зависимости от выбора системы отсчета оказаться раньше события v' , позднее того же события или быть одновременным с ним.

Как интерпретировать диаграмму Минковского (имеющую прямой смысл только в релятивистской физике) при анализе времени в геологии? Прямой перенос релятивистских понятий недопустим, так как мир геологии принадлежит миру ньютоновской физики (поэтому-то релятивистские термины — «световой конус», «абсолютно безразличная область» и др. — употреблялись только в кавычках). Вместе с тем при восстановлении временной геологической последовательности, упорядочиваемой отношением «раньше или одновременно», мы всегда сталкиваемся с событиями, последовательность которых не выявляется методами синхронизации и корреляции. Они оказываются для нас (по крайней мере на современном уровне развития геологии) как бы в «абсолютно безразличной области», как бы отделенными границами «светового конуса», которые невозможно перейти (на световом конусе, в теории относительности, лежат объекты, движущиеся со скоростью света, а все объекты внутри конуса обладают досветовыми скоростями), их временной порядок оказывается зависящим от точки зрения исследователя, т. е. в конечном счете от выбора системы отсчета. Д. Бом (1967) отмечает, что выводы об области «абсолютно безразличного» (в смысле временного порядка) можно делать по аналогии с событиями «абсолютно прошлого» (лежащими внутри светового конуса). Однако такие выводы принципиально неполны, так как в «абсолютно безразличной области» широко проявляется действие случайных факторов, о многих из которых мы ничего не знаем.

Итак, временной порядок с помощью отношения «раньше или одновременно» принципиально невозможно ввести на всем множестве геологических событий: всегда есть бесконечное множество событий, для которых эти отношения не определены (лежат для нас в «абсолютно безразличной области»). Поэтому нужно считать, что попытки построить с помощью отношения «раньше или одновременно» систему глобальной стратиграфии тел всех уровней нереальны, к какому бы уровню ни принадлежали коррелируемые геологические тела.

Временной порядок, задаваемый отношением «быть прошлым» («быть будущим»)

Диаграмма Минковского удобна и для анализа понятий «настоящее», «прошлое», «будущее» — понятий, с помощью которых на временной последовательности можно определить порядковое отношение «быть прошлым» (или обратное к нему отношение «быть будущим»). У исследователей проблемы времени нет единого истолкования сущности этих понятий и их соотношения с понятиями «раньше», «позже», «одновременно». Так, А. Д. Александров (1973) утверждает, что множество одновременных событий должно разбивать многообразие всех событий на две части, соответствующие прошедшему и будущему. Я. Ф. Аскин (1971) полагает, что отношения раньше — позже выражают количественную сторону временной последовательности, а настоящее — прошедшее — будущее — качественную. По А. М. Мостепаненко (1974), время — последовательность имеет статистическую (раньше — позднее) и кинематическую (прошлое — настоящее — будущее) характеристики. Попробуем проанализировать эти соотношения, опираясь на рис. 1.

Очевидно, что точка зрения А. Д. Александрова не может быть верной. Отношение одновременности разбивает множество событий на классы эквивалентности (подмножества событий, одновременных любому выделенному событию; в четырехмерном пространственно-временном континууме класс эквивалентности по отношению одновременности представляет собой трехмерную гиперповерхность). Одновременные события существовали в прошлом, существуют в настоящем и, очевидно, будут существовать в будущем. Однако отношение «быть настоящим» не является эквивалентностью: оно не определено ни для прошлого, ни для будущего. Онтологический статус настоящего интуитивно очевиден: настоящее охватывает то множество событий, которые протекают сейчас, на глазах наблюдателя. Его гносеологический статус сложен: на диаграмме Минковского настоящему соответствует одноточечное подмножество (состоящее только из точки O), а реально при анализе временной последовательности мы вынуждены считать его имеющим какую-то длительность. При философском анализе α настоящему обычно относят все то, что протекает на глазах человечества; в геологических исследованиях высказывалась и такая точка зрения (Шанцер, 1970), по которой к настоящему при применении метода актуализма относится весь четвертичный период.

А. М. Мостепаненко (1974) совершенно верно подмечена «текучесть» настоящего: в природе мы не можем остановить течения времени, непрерывно происходящей смены настоящего прошедшим. Однако настоящее, становясь прошлым, не уходит бесследно: «все, что осталось от прошлого, — это только его

след, существующий в настоящем» (Бом, 1967, с. 209). Именно эта неразрывная связь настоящего с прошлым служит основой восстановления временной последовательности прошлого.

Отношение «быть прошлым» («быть будущим») задает на множестве событий несовершенный строгий порядок (никакое событие не может находиться в отношении «быть прошлым» или «быть будущим» с самим собой). Отношения «быть прошлым» и «быть будущим» выделяют на множестве всех событий два частично упорядоченных подмножества, которые всегда пересекаются в одной точке — точке настоящего. Именно в этом смысл изображения множества временных точек (или соответствующих им событий) с помощью «светового конуса» на диаграмме Минковского: «световой конус» очень четко показывает принципиальную структуру этого множества. На диаграмме Минковского четко видны различия в упорядочении отношениями «раньше», «позже», «одновременно», с одной стороны, и «прошлое», «настоящее», «будущее», с другой: первые определены во всем «световом конусе», отношение «быть прошлым» — только для абсолютного прошлого, отношение «быть будущим» — для абсолютного будущего. Кроме того, в «абсолютно безразличной области» понятия прошлого, настоящего и будущего вообще не имеют смысла, а понятия «раньше» («позже») и «одновременно» оказываются неопределенными, зависящими от позиции наблюдателя.

Временной порядок, определяемый отношением «лежать между»

Тип временного порядка «лежать между» описал А. М. Мостепаненко (1971). Такое описание не вполне корректно, так как порядок есть бинарное отношение (определенное для пар точек множества), а отношение «лежать между» есть отношение тернарное (определенное для троек точек множества). Вместе с тем тернарное отношение «лежать между» может быть представлено суммой бинарных отношений (например, «лежать правее точки А» и «лежать левее точки С» на временной последовательности), определяющих один порядок, если считать время незамкнутым. Поэтому для порядкового отношения такого типа можно в качестве сокращения (не забывая об этом!) пользоваться тернарным отношением «лежать между». А. М. Мостепаненко считает, что этот тип упорядочения выражает свойства временной промежуточности. Этот тип порядка состоит в том, что «...из трех любых различных моментов времени А, В, С один и только один расположен между двумя другими (например, момент времени В расположен между моментом А и моментом С). Временная упорядоченность связана с отсутствием временных циклов и замкнутых причинных цепей, так

как, если бы они существовали, отношение «между» для моментов времени потеряло бы свой однозначный смысл» (Мостепаненко, 1971, с. 39).

Итак, очевидно, что отношение «лежать между» задает строгий совершенный порядок (событие А не может находиться в отношении «лежать между» с самим собой, но в то же время это отношение определено для всего множества событий, для которого оно вводится) на множестве событий, связанных временноподобными интервалами, и не определено для событий из «абсолютно безразличной области».

Установление временного порядка для геологических событий

Из рассмотренных трех типов временного порядка геологию фактически интересует лишь один: порядок, определяемый отношением «быть прошлым». «Быть будущим» не имеет практического значения в геологии, а определяемый с помощью тернарного отношения порядок «лежать между» однозначно устанавливается на множестве моментов времени, упорядоченном отношением «раньше — позже». Поэтому нас должен интересовать лишь временной порядок, задаваемый отношением «раньше или одновременно». Отметим, что для настоящего эта процедура достаточно тривиальна (в геологии!), а для будущего интересна лишь в общефилософском плане. Поэтому нас интересует упорядочение временной последовательности прошлого. Каковы же пути, которые приводят к установлению этого порядка?

В самом общем виде решение поставленной задачи опирается на положение о том, что «громадное множество фактов, имеющих в природе, настолько систематично и упорядоченно, что они с течением времени заметно не изменяются. Для таких фактов наши познания, основывающиеся на прошлом, будут хорошим приближением к действительности» (Бом, 1967, с. 211).

Представляется, что существует по меньшей мере три способа установления временного порядка.

1. Выведение порядка событий из их длительности и соотношение начал или концов событий с календарем. Такой прием зачастую используется в истории человеческого общества (Рыбаков, 1972; Лихачев, 1975). Для геологии он означает, что должна быть определена длительность всех сравниваемых событий, построен календарь и события должны быть «привязаны» к календарю. Эта задача настолько трудна, что только сейчас выясняются истинные масштабы ее сложности. Может оказаться так, что два события по возрасту совпадают частично. Как тогда определить их положение во временной последовательности? Мы уже отмечали, что при совместном анализе отношений

«раньше» («позже») и «одновременно» возникают значительные трудности. В данном случае эти трудности проявляются в полной мере. Следует добавить, что пужен еще специальный геологический анализ возможности приведения времени — длительности и времени — последовательности во взаимно однозначное соответствие.

2. Можно использовать известную в физике эргодическую гипотезу (Лаандау, Лившиц, 1976) в следующем варианте: берем некоторое множество объектов и располагаем их в эволюционный ряд, утверждая, что каждый конкретный объект проходит последовательно все стадии эволюции. Эти стадии и будут соответствовать различным положениям объекта во временной последовательности. Такой путь, избранный астрофизикой и биологией, весьма привлекателен. Но он предполагает опору на какую-нибудь эволюционную гипотезу. Например, астрофизика опирается на гипотезу о ядерных реакциях в недрах звезд. Между тем эксперименты по измерению потока солнечных нейтрино поставили под сомнение всю хорошо разработанную (но опирающуюся на гипотезу!) картину эволюции звезд, а значит, и определенность их положения во временной последовательности, и определенность их возраста. По-видимому, способ, основанный на эволюционной гипотезе, не всегда надежен.

3. Третий подход заключается в логическом выведении временных отношений между объектами из их пространственных отношений, зафиксированных в пышем положении. На основании этого подхода Ю. А. Воропиз, Ю. А. Косыгин, Ю. А. Салин и В. А. Соловьев (Геология и математика, 1967; Косыгин и др., 1969, 1974а, б; и др.) пришли к выводу, что время в геологии не «физическое», а «логическое» и что время — та же пространственная (структурная) характеристика, зашифрованная временными терминами. Отметим, что логический способ построения временной последовательности не является привлекательной или даже спецификой геологии — для примера вновь сошлемся на работу Б. А. Рыбакова (1972).

К сожалению, этот, наиболее надежный (практически единственный в любых исторических исследованиях и любых областях знания), способ установления временных отношений также чреват осложнениями, причем различного характера.

Первая трудность применения этого способа вызвана тем, что пространство (следовательно, и реальные тела, в том числе геологические) трехмерно, а время одномерно. Между тем теорема Брауэра утверждает (Александров, Пасышков, 1973), что невозможно установить гомеоморфизм между топологическими пространствами, если их размерности неравны. При любом соответствии между такими пространствами будет нарушаться либо взаимная однозначность, либо непрерывность. Это положение иллюстрирует рис. 2 (конечно, проектирование заведомо

есть серьезные основания полагать, что ее окончательное решение вообще не будет получено.

ЛИТЕРАТУРА

- Александров А. Д.** Пространство и время в современной физике в свете философских идей Лейбница.— В кн.: Физическая наука и философия. М., 1973, с. 102—140.
- Александров П. С., Пасынков Б. А.** Введение в теорию размерности. Введение в теорию топологических пространств и общую теорию размерности. М., 1973. 575 с.
- Аскин Я. Ф.** Бесконечность Вселенной во времени.— В кн.: Бесконечность и Вселенная. М., 1969, с. 158—167.
- Аскин Я. Ф.** Направление времени и временная структура процессов.— В кн.: Пространство, время, движение. М., 1971, с. 56—79.
- Аугустынек З.** Два определения времени.— Вопр. философии, 1970, № 6, с. 48—53.
- Аугустынек З.** Лейбницство определешие времени.— Вопр. философии, 1973а, № 5, с. 109—121.
- Аугустынек З.** Атрибутивная концепция пространства — времени.— В кн.: Физическая наука и философия. М., 1973б, с. 288—296.
- Бом Д.** Специальная теория относительности. М., 1967. 285 с.
- Бунге М.** Пространство и время в современной науке.— Вопр. философии, 1970, № 7, с. 81—92.
- Геология и математика. Новосибирск, 1967. 251 с.
- Егоров А. А.** Диалектическое отношение пространства — времени к материальному движению. Л., 1976. 128 с.
- Косыгин Ю. А., Салин Ю. С., Соловьев В. А.** Философские проблемы геологического времени.— Вопр. философии, 1974а, № 2, с. 96—104.
- Косыгин Ю. А., Салин Ю. С., Соловьев В. А.** Время в геологии.— В кн.: Основные проблемы биостратиграфии и палеогеографии Северо-Востока СССР. Магадан, 1974б., вып. 62, с. 44—49.
- Косыгин Ю. А., Соловьев В. А.** Статические, динамические и ретроспективные системы в геологии.— Изв. АН СССР. Сер. геол., 1969, № 6, с. 9—17.
- Куратовский** Топология. М., 1966, т. 1. 594 с.
- Ландау Л. Д., Лившиц Е. М.** Статистическая физика. М., 1976, ч. 1. 584 с.
- Лихачев Д. С.** Развитие русской литературы X—XVII веков. Эпохи и стили. Л., 1975. 254 с.
- Любинская Л. Н.** Аксиоматизация свойств времени.— В кн.: Философия и современное естествознание: Материалы к XVI Междунар. Венскому конгр., представленные философами Сов. Союза. Секция 7. М., 1968, вып. 2, с. 130—137.
- Матвеев А. Н.** Механика и теория относительности. М., 1976. 415 с.
- Мицкевич Н. В.** Предваряя книгу... — В кн.: Линднер Г. Картины современной физики. М., 1977, с. 5—10.
- Мостепаненко А. М.** Размерность времени и временной порядок.— В кн.: Пространство, время, движение. М., 1971, с. 35—55.
- Мостепаненко А. М.** Многообразие свойств пространства — времени и проблемы физического познания.— В кн.: Физическая наука и философия. М., 1973, с. 306—312.
- Мостепаненко А. М.** Пространство и время в макро-, мега- и микромире. М., 1974. 240 с.
- Мостепаненко А. М.** Пространство — время и физическое познание. М., 1975, 216 с.
- Рыбаков Б. А.** Русские летописцы и автор «Слова о полку Игореве». М., 1972. 520 с.
- Тейлор Э. Ф., Уилер Дж. А.** Физика пространства — времени. М., 1971. 319 с.

- Чудинов Э. М.** Геометрическое моделирование времени в теории относительности. — Вопр. философии, 1968, № 9, с. 57—66.
- Чудинов Э. М.** Теория относительности и философия. М., 1974. 304 с.
- Шанцер Е. В.** К методологии историко-геологического исследования.— Геотектоника. 1970, № 2, с. 7—19.
- Шрейдер Ю. А.** Равенство, сходство, порядок. М., 1971. 256 с.
- Яворский Б. М., Детлаф А. А.** Справочник по физике для инженеров и студентов вузов. 1974. 942 с.

ЭКОСТРАТИГРАФИЯ И КАУЗАЛЬНОЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ВРЕМЯ

Описанная в статье методика экосистемного анализа древнего сообщества фораминифер направлена на выявление обусловленной общеэкологическими причинами ритмики развития сообщества.

Представление об этапности в развитии органического мира связано с вопросом о геологическом времени и геологической одновременности. Первоначально считалось, что основные этапы горообразования, разграничивающие эры, эпохи и периоды, совпадают во всем мире. Так, А. Н. Мазарович (1938) писал, что геологически одновременными или синхроничными образованиями являются такие, которые произошли в промежуток времени, в течение которого не было значительных изменений в окружающих физико-географических условиях или в органическом мире. Сегодня мы уже не уверены, носит ли орогенез всемирный характер (Куртис и др., 1963).

Мы не проводим подробного разбора истории проблемы геологического времени, ее связи с проблемой эволюционной этапности и с развитием эволюционного учения, целиком полагаясь в этом вопросе на детальные критические разборы многочисленных предшественников, в частности К. В. Симакова (1974, 1975; Симаков, Оноприенко, 1977) и В. А. Красилова (1977). Опираясь на их исследования и подчеркивая свое общее концептуальное согласие с ними, мы пытаемся лишь выработать методические приемы анализа этапности в развитии экосистем древности, с трудом поддающихся изучению, расчленению и корреляции обычными бистратиграфическими методами.

Исходная предпосылка состоит в том, что нам ничего не известно заранее о синхронности или гетерохронности сходных комплексов фауны, разделенных значительными расстояниями.

На основании существующего распределения органической жизни едва ли можно ожидать схожие между собой остатки в географически отдаленных друг от друга пластах одной и той же эпохи. Если же встречается значительное сходство между ископаемыми остатками в географически отдаленных пластах, оно, по всей вероятности, обуславливается скорее сходством условий, чем одновременностью происхождения. С нашей точки

зрения, совершенно прав К. В. Симаков, когда он утверждает, что, если исходить из дарвиновской концепции эволюции, полагающей монофилетическое происхождение новых форм, присутствие одинаковых видов в удаленных районах не может являться доказательством синхронности вмещающих отложений, а скорее, напротив, свидетельствует об их гетерохронности (Симаков, Оноприенко, 1977). Так, в бассейне р. Колыма и на о-ве Тимор в пермский период жил один и тот же вид экзотического колониального коралла *Cladichonus magnus* Gerth. Мы вынуждены сомневаться либо в принадлежности сравниваемых форм с Колымы и Тимора (морфологически совершенно идентичных) к одному виду, теряя при этом представление о критериях видовой принадлежности у кораллов, либо в одновременности их существования.

Положение об одновозрастности одинаковых фаун критиковали в свое время Спенсер, Гексли, Дарвин и многие другие. «Концепция гомотаксиса» Гексли, согласно которой палеонтологические остатки представляют собой лишь «сигнал точного времени», распространяющийся с конечной скоростью из некоторого эталонного пункта, показывает принципиальную возможность неодновременности одинаковых фаун.

Современная биогеография базируется на неодинаковости фаун и флор по земной поверхности в связи с климатической зональностью и естественными биогеографическими барьерами. Если представить себе всю современную биосферу в качестве одновременно захороненного стратона и попытаться затем изучать ее так, как мы это обычно делаем в биостратиграфии, у нас не найдется ни одного сколько-нибудь удовлетворительного критерия для установления одновременности существования пестрой мозаики биогеографических зон, ареалов и областей с многочисленными эндемичными резерватами, отличающимися коренным образом от окружающих районов по составу животного и растительного мира. Еще более усложнят картину так называемые «живые ископаемые», оставшиеся в наследие от прежних эпох.

Таким образом, геология нуждалась и продолжает нуждаться в представлении о единых моментах для отсчета всеземного времени (Симаков, Оноприенко, 1977).

В своих рассуждениях мы исходим из представления Лейбница о времени как о фикции, связанной в нашем сознании с причинно-следственной структурой мира. Если существует некий, независимо от его природы, общий для всей Земли внешний процесс, влекущий за собой изменения как в открытых, так и в относительно замкнутых экосистемах, то он может служить основой для выработки представления о всеземном времени и об одновременности событий, связанных одной причиной. В соответствии с такими представлениями возникает причинная трак-

товка времени и одновременности: геологические объекты, являющиеся следствием одной причины, одновременны (Симаков, 1974).

Рассматривая биосферу как общепланетную экосистему с соответствующим ей стратонем (Красилов, 1970) и полагая, что она состоит из сменяющих друг друга в пространстве и времени частных, региональных экосистем, мы можем провести анализ изменения конкретного состояния частных систем на протяжении какого-либо периода их существования: если есть общая для всей планеты внешняя причина, действующая на всю биосферу, ее действие должно отражаться на любом локальном участке. В этом гипотетическом процессе мы видим вторую возможность решения вопроса о базисе геологического каузального времени. Этот подход мы противопоставляем биологическому виду привилегированной системы К. В. Симакова. Оценивая вид в качестве кванта процесса эволюции жизни на Земле, К. В. Симаков исходит из неявного признания внутренне присущей организмам ортогенетической природы эволюционных преобразований одного вида в другой. Длительность существования последовательно сменяющих друг друга видов или интервалы между появлениями итеративно возникающих видов в различных филумах с непересекающимися областями распространения он считает возможным принять за основу для метрики каузального геологического времени (Симаков, 1975).

Для операционального решения проблемы синхронизации нам еще следует найти критерии, позволяющие выявить общепланетарную внешнюю причину, влекущую за собой эволюционные и сукцессионные сдвиги в экосистеме. С помощью некоторых операций нам надлежит установить наличие в состоянии палеоэкосистем определенного рода колебаний, сопровождающих их эволюционные изменения. Прослеживая эти колебания по различным районам планеты, мы можем уловить в них резонансные гармоники, охватывающие всю планету. Резонансное совпадение гомотаксически изменяющихся гармоник и будет свидетельствовать об одновременности процессов, т. е. явится отражением действия общепланетарной внешней причины, порождающей геологическую эволюционную этапность и, следовательно, геологическое время. Вопрос о сходстве и различиях фауны, применяемой при широких корреляциях, не должен нас волновать по причинам, указанным выше, нас прежде всего интересует обнаружение эффектов, свидетельствующих о наличии гомотаксических изменений в палеоэкосистемах, априорно принимаемых за зоогеографически неодинаковые.

Геологически одновременными следует называть события, совмещенные в пространстве — времени или совпадающие со сменой качественной определенности систем, принятых за базис метрики. Причина (процесс), действующая на всю биосферу и

вызывающая гомотаксические последовательные изменения в состоянии различных экосистем, может быть принята за начало отсчета и критерий одновременности этих изменений.

Исходя из этих соображений, мы провели палеоэкологический анализ сообщества фораминифер, населявших в палеогеновое и неогеновое время район Нижнеанадырской впадины на Чукотке. В исследовании предпринята попытка выработать такие приемы, которые позволили бы выявлять ритмику состояний сообщества независимо от систематического состава слагающих его животных и растений.

Нижнеанадырская впадина выполнена мощным комплексом довольно молотопных по составу терригенных отложений олигоценового, миоценового и плиоценового возраста. Отложения представлены чередованием аргиллитов, алевролитов и песчаников с углистыми линзами и прослоями. При нефтепоисковом и опорном бурении в отобранных по скважинам образцах керна обнаружен комплекс дошлых фораминифер из 130 видов, принадлежащих 51 роду и 16 семействам. Большая часть фораминифер снизу доверху связана серией непрерывных переходов, что весьма затрудняет установление естественноисторических этапов в их развитии. Определить в данном случае ряд последовательных качественно отличных комплексов в принципе возможно с применением таких различных приемов, как, например, «привязка» комплексов к литологическим свитам с последующим сравнением списочного состава или распределения фораминифер в порядке появления по разрезу (рис. 1), а затем подразделение истории сообщества в соответствии с полученными «ступеньками». Однако эти методы произвольны, так как учитывают лишь одну сторону процесса, не отражают всей гаммы внутренних перестроек сообщества, связанных с изменением относительного количества различных организмов, моментов вымирания или расцвета отдельных видов и их групп и т. д.

Между тем применение полуколичественного анализа позволяет по сгущениям и разрежениям линий на графике стратиграфического распространения остатков фауны наметить некоторые палеоэкологически значимые моменты в развитии сообщества. При таком методе учитывается не только изменение таксономического состава фораминифер, но и их относительное обилие в каждый момент геологического времени. При изучении изменений таксономического состава и количественных соотношений фораминифер от олигоцена до плиоцена удалось выявить 9 последовательных комплексов, поименованных в соответствии с названиями свит (Преображенская, 1975): ранне-, средне- и позднемайницкий, собольковский, автаткульско-елисеевский, ранне- и позднеозернинский, ранне- и позднеэчинский. Комплексы связаны друг с другом непрерывными переходами, что отражает преемственность их развития, а последовательное

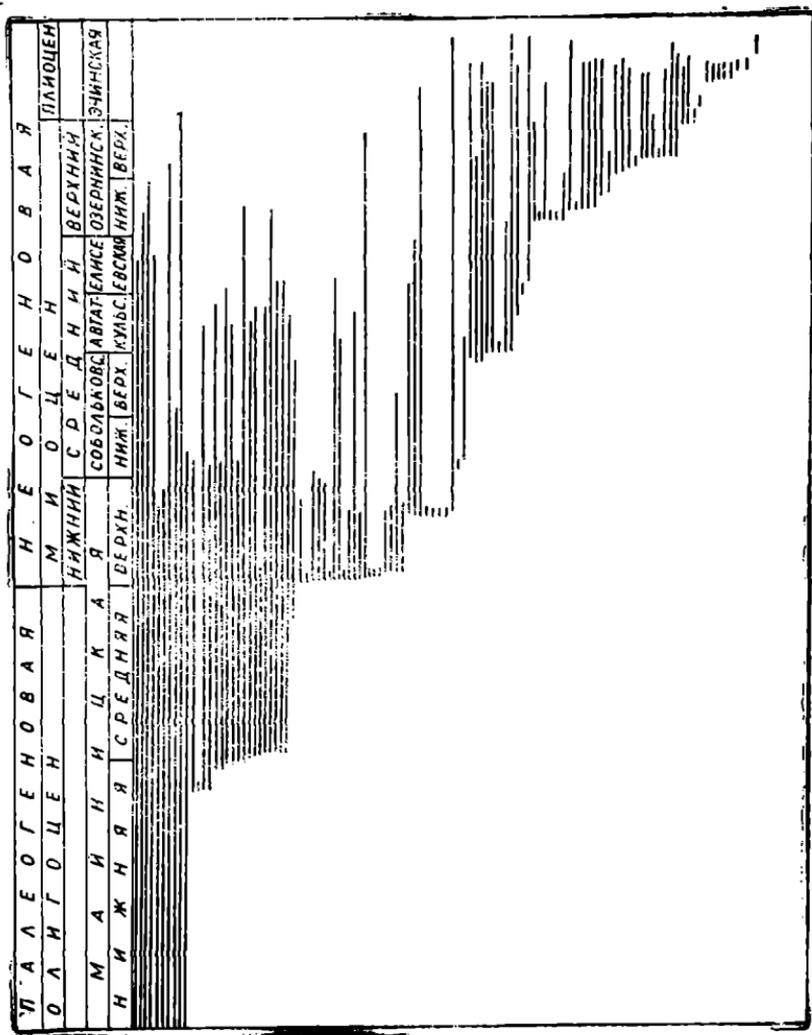


Рис. 1. Последовательная смена фораминиферных комплексов в неогене и палеогене Нижнесадырской впадины

изменение систематического состава и количественных соотношений внутри комплексов может указывать на экологическую сукцессию (Одум, 1968).

Сообщество анализировалось как единое экосистемное объединение. Предварительно выделенные 9 комплексов служили основой для сравнения последовательных состояний палеоэкосистемы. В каждом комплексе нами рассматриваются следующие стандартные элементы: *транзитные* виды, унаследованные от предыдущих комплексов и выходящие за пределы рассматриваемого; *доживающие*, унаследованные виды, вымирающие

внутри данного комплекса; *неофитные*, впервые возникающие внутри изучаемого комплекса и продолжающие развитие; характеризующие только данный комплекс *хроноэндемичные* виды с узким стратиграфическим диапазоном. Представленное в стратиграфической последовательности количественное соотношение стандартных элементов в составе сообщества образует график эволюционных изменений сообщества на протяжении позднего палеогена и неогена (рис. 2). Анализ графика позволяет проследить в жизни сообщества дошлых фораминифер Нижнеанадырской впадины экологические оптимумы и депрессии, в которых отражаются пять этапов развития экосистемы. Оптимумы и депрессии в состоянии сообщества отражают ход экологической сукцессии, т. е. самые общие черты состояния экосистемы на фоне изменяющейся физико-географической обстановки. Границы между этапами мы рассматриваем как важнейшие естественноисторические рубежи, которые могут служить основой для экостратиграфического расчленения верхнекайнозойских отложений Нижнеанадырской впадины.

Первый этап (оптимальная фаза) соответствовал ранне-

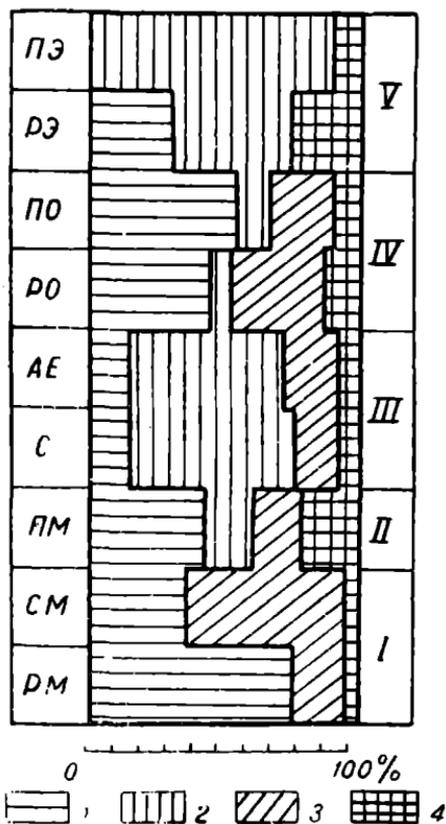


Рис. 2. Относительные количества стандартных элементов и этапы развития (I—V) дошлых фораминифер в позднем палеогене и неогене Нижнеанадырской впадины: 1 — транзитные, 2 — доживающие, 3 — неофитные, 4 — хроноэндемичные элементы; комплексы фораминифер: РМ, СМ, ПМ — ранне-, средне- и позднемайницкий, С — собольковский, АЕ — автаткульско-эллисеевский, РО и ПО — ранне- и позднесозернинский, РЭ и ПЭ — ранне- и поздпечни-ский

среднемайницкому времени. Он характеризовался многочисленной и разнообразной фауной агглютинирующих фораминифер, в основном литуолид, реофацид и в меньшей степени атаксофрагмиид и аммодисцид. Секреционные фораминиферы имели подчиненное значение. В это время Анадырское море населяли *Reophax tappuesis*, *R. scorpiurus*, *Cyclammina pacifica*, *Ammodiscus tenuis*, большое количество *Haplophragmoides*, *Budashevella*, а также *Melonis tumiensis*, *Gavelinella glabrata*, *Trifarina* sp. и др. Верхний рубеж этапа фиксируется по резкой перестройке структуры сообщества и смене литологического состава пород: алевролитов на песчаники.

Второй этап (оптимальная фаза) соответствовал времени формирования верхнемайницкой подсвиты. Он выделяется по вымиранию ряда видов, значительному сокращению неофитов и увеличению в составе комплекса временных эндемиков. Этап характеризовался наибольшей плотностью и разнообразием донных фораминифер, среди которых самые многочисленные — *Reophax*, *Haplophragmoides*, *Budashevella*, *Ammomarginulina*, *Sigmomorphina*, *Quinqueloculina*, *Perfectononion*, *Melonis*, *Islandiella*, *Pseudoglandulina*. Верхний рубеж этапа обозначается резким обеднением комплекса в собольковское время, что, вероятно, связано с перестройкой и обмелением бассейна.

Третий этап (депрессивная фаза) соответствовал времени отложения собольковской, автаткульской и елисеевской свит и делится по составу фауны на две стадии — собольковскую и автаткульско-елисеевскую. Экосистема собольковского бассейна в связи с обмелением сохранила малочисленную как по видам, так и по количеству фауну фораминифер: *Reophax tappuensis*, *Haplophragmoides spadix*, *H. postlaminatus*, *Budashevella multicamerata*, *B. desertus*, *Ammomarginulina troptunensis*, *Gavelinella glabrata*, *Porosotalia clarki*. В автаткульско-елисеевскую стадию вымирают почти все агглютинирующие фораминиферы, преобладавшие на первых двух этапах развития сообщества. Среди них *Rhabdammina*, *Reophax* и все представители семейства *Lituolidae* и *Trochamminidae*. Это вымирание отчетливо отделяет верхний рубеж этапа.

Четвертый этап (оптимальная фаза) соответствовал накоплению озернинской свиты. Для этого этапа характерен расцвет секреционных форм: *Sigmomorphina semitecta*, *S. lautenschlaegeri*, *Pseudopolymorphina* cf. *suboblonga*, *Polymorphina ishikawensis*, *Saidovella discoidalis*, *S. anadyrensis*, *Pseudoelphidiella hannai*, *Nonion incrassatus*, *Perfectononion rimatus*, *P. incertus*, *Elphidiella jannae*, *Criboelphidium planoseptatum*, *Porosotalia perforata* и др. В конце этапа численность фораминифер резко сократилась.

Пятый этап (депрессивная фаза) соответствовал эчинскому времени. Здесь наблюдается вымирание ряда форм, исчезнове-

нис несофитной составляющей и сокращение всего сообщества, по-видимому, вследствие обмеления и сокращения площади морского залива. В морских участках продолжали жить *Nonion aff. pagasawaensis*, *Sigmomorphina semitecta*, *S. lautenschlaegere*, *Polymorphina ishikawaensis*, *P. sharlottensis*, *Saidovella nagaoui*; в опресненных лагунах обитали *Miliammina sakhalinica*, *M. fusca*, *Textulariella* sp., *Marssonella* sp. Смена морского режима на лагунно-континентальный сопровождалась накоплением линз и прослоев углей.

Примененная нами методика палеоэкологического анализа ритмики древних экосистем позволит совместить на едином графике и сравнить характеристики самых различных групп фауны и флоры, независимо от их таксонометрического положения. Выявленные таким образом ритмы развития сообществ могут быть сопоставлены и подвергнуты гармоническому анализу для установления резонансных состояний на различных участках земной поверхности. Обязательное условие такого исследования — применение единой методики. Описанная методика включает в качестве последовательных операций методы традиционного сравнения списочного состава, полуколичественного, экосистемного и гармонического анализа состояний экосистемы и позволяет в значительной мере уменьшить долю субъективизма в биостратиграфических построениях и корреляциях.

ЛИТЕРАТУРА

- Красилов В. А. Палеоэкосистемы.— Изв. АН СССР. Сер. геол., 1970, № 4, с. 114—150.
- Красилов В. А. Эволюция и биостратиграфия. М., 1977. 256 с.
- Куртис Г. Х., Савидж Д. Е., Эвенден Дж. Ф. Опорные точки кайнозоя.— В кн.: Вопр. геохронологии. М., 1963, с. 132—144.
- Мазарович А. Н. Историческая геология. М., 1938. 464 с.
- Одум Е. Экология. М., 1968, 168 с.
- Преображенская Т. В. История развития фораминиферных сообществ в неогене Нижнеанадырской впадины (Северо-Восток СССР).— В кн.: Образ жизни и закономерности расселения современной и ископаемой микрофауны. М., 1975, с. 107—111.
- Симаков К. В. Время в стратиграфии.— В кн.: Методологические вопр. геол. наук. Киев, 1974, с. 81—105.
- Симаков К. В. Проблема геологического времени.— В кн.: Геол. исследования на Северо-Востоке СССР. Магадан, 1975, с. 73—84. (Тр. СВКНИИ ДВНЦ АН СССР; Вып. 68).
- Симаков К. В., Оноприенко В. И. Сигнальный и каузальный подходы к проблеме геологической одновременности.— В кн.: Вопр. методологии в геол. науках. Киев, 1977, с. 57—72.

СКЛЕРОХРОНОЛОГИЯ

Вводные замечания

Проблема времени в геологии начинает привлекать все большее внимание исследователей. Для геолога время — это прежде всего поступательный ход исторического развития земной коры и составляющих ее структурных компонентов — платформ, геосинклиналей, орогенных областей. Каждый из нас пытается тем или иным способом реконструировать процесс эволюции биосферы или ее отдельных частей. Поэтому геологу далеко не безразлично, когда происходил исследуемый им глобальный или региональный процесс, а установление повторяемости сходных событий в различные времена и в различных местах, как справедливо отмечал С. Н. Бубнов (1960), для него равносильно доказательству закономерностей в развитии структур на генетической основе.

Важнейший для исследователя проблемы времени в геологии подход заключается в построении циклов геологических событий — многофазных процессов с одинаковой последовательностью фаз. К подобным процессам относятся, например, эпейрогенез и орогенез, колебательные движения земной коры, пульсации в развитии органического мира, трансгрессии и регрессии морей и океанов, инудации, эмерсии и многие другие. Однако об универсальности форм движения земной коры спорят уже не один десяток лет. Скептическое отношение к всесветным фазам складчатости, синхронным мировым трансгрессиям и регрессиям, глобальным катастрофам, якобы повсеместно и в очень короткий срок перестраивающим системы биотических связей и структуру экосистем, хорошо известно.

Геологов все больше привлекают астрономические периоды как возможная основа геологического летоисчисления. Они обращаются к поискам эквивалентов вращения Земли вокруг оси и вокруг Солнца, изменений солнечной активности, лунных приливо-отливных циклов, обращений Солнечной системы вокруг центра Галактики и др. Поскольку положением Земли в космическом пространстве определяется количество попадающей на ее поверхность солнечной энергии, то его периодические изменения неизбежно влияют на земные процессы. Вот почему для

историка Земли астрономическое выражение года более интересно, чем физическое измерение, основанное на принципе неизменного равномерного движения или относительно учитывающее лишь, что событие Б произошло после события А, и не позволяющее поэтому оценивать скорость, силу и энергию движения изучаемой системы. Немаловажно и то, что астрономическое время по отношению к Земле и совершающимся на ней процессам является внешнеотсчетным.

Для синхронизации событий заключительного этапа геологической истории Земли одной из первых нашла применение предложенная югославским астрономом М. Миланковичем (Milankovich, 1920, 1930) «солярная кривая» — графическое изображение колебаний интенсивности облучения Солнцем умеренных широт Земли. «Солярная кривая», построенная с учетом изменений количества солнечной радиации, получаемой различными поясами Земли вследствие колебаний эксцентриситета земной орбиты, наклона ее оси вращения к орбитальной плоскости и прецессии (времени наступления равноденствий), обнаруживает вполне определенное сходство с «климатической кривой» четвертичного периода. Это дало основание видеть в «солярной кривой» своеобразный хронограф, позволяющий с невиданной до того в геологии точностью датировать различные события новейшего отрезка геологической истории, и прежде всего четвертичных оледенений и межледниковых эпох (Ковалевский, 1957).

Расчеты колебаний инсоляции впоследствии неоднократно уточнялись как самим М. Миланковичем, так и его последователями (Шараф, Будникова, 1969). Результаты всех этих авторов близки. Более того, кривая английского астронома XIX в. Джеймса Кролля (Kroll, 1875), построенная лишь по одной важнейшей из трех переменных величин, определяющих облучение Земли, — по изменению эксцентриситета ее орбиты, — в общем вполне удовлетворительно отмечает все крупнейшие волны тепла и холода за последние 3,5 млн. лет и отчетливо коррелируется с соответствующими изменениями фауны и флоры и инверсиями магнитного поля (Краснов, 1974). Изменения напряженности и инверсии магнитного поля Земли, вариации электрической и магнитной активности, уровня атмосферных и радиоизлучений, повторяемость, как выясняется в последние годы (Пресман, 1974), магнитных бурь согласованы с ритмами биологических процессов разного порядка — от суточных до охватывающих десятки и сотни миллионов лет.

Вместе с тем продолжительность наиболее крупных циклов от древнейших времен к современности неуклонно сокращалась. Согласно представлениям С. Н. Бубнова (1960), каждый последующий цикл приблизительно на одну треть короче предыдущего. Альгонкский цикл продолжался 280—300 млн. лет, древне-

палеозойский — 185, позднепалеозойский — 115, раннемезозойский — 85, позднемезозойский — 65, палеогеновый — 35, а неогеновый — 25 млн. лет. Вряд ли подобную динамику можно объяснить случайностью. Скорее в сокращении продолжительности мегациклов следует усмотреть направленный характер изменений пространства — времени в системе Земля — Солнце, и мы можем допустить вероятность изменения астрономического масштаба времени. В ходе геологической истории все эти события, если они действительно имели место, не могли не отразиться и в ритмике биологических процессов. Мы вправе попытаться уловить ее отражение в строении и составе скелетов таких современных и древних организмов, которые образуются путем последовательного нарастания.

О периодичности роста скелетных частей современных и ископаемых организмов

Впервые вопрос о характере проявления времени в геохимических и биогеохимических процессах поднял академик В. И. Вернадский. Полярность времени в этих процессах выражается, по его мнению, в том, что эти процессы необратимы. Ход времени в системе организм — среда должен неизбежно выражаться вектором (Вернадский, 1975). В то же время такие процессы оказываются периодическими.

Периодичность роста скелетных частей морских организмов, прежде всего моллюсков и кораллов, а также строматолитов, описана неоднократно.

Р. Баркер (Barker, 1964) обнаружил на раковинах моллюсков, обитающих в прибрежных зонах моря, циклические группировки слоев роста различной периодичности. Циклы первого порядка соответствуют у моллюсков Атлантического побережья Северной Америки, на всем протяжении от берегов Канады до Флориды, годичным колебаниям температуры и солености, циклы второго порядка связаны с полугодовой периодичностью приливов и штормов, третьего — с двухнедельными приливостивными циклами, четвертого — с суточными, а пятого — с шестичасовыми периодами прилива — отлива. В. Н. Золотарев (1974), изучив структуру раковин дальневосточной мидии *Stenoputillus ghaularis*, выявил колебания темпов роста с периодами 10—15 лет и заключил, что первопричиной этих колебаний являются ритмические изменения солнечной активности.

Впервые с помощью математического аппарата периодические изменения линейных приростов раковин массовых видов двусторчатых моллюсков исследовали А. В. Силина и соавторы (1976). В связи с тем что достоверность корреляции динамики величин приростов скелетного вещества с изменениями космических факторов, в частности солнечной активности, имеет су-

щественное значение для будущего склерохронологии, остановимся на этих результатах более подробно.

Короткие (от суточных до месячных) периоды роста изучались по раковинам гребешка *Patinopecten yessoensis* из Амурского залива Японского моря, спизулы сахалинской *Spisula sachalinensis* с литорали залива Анива Охотского моря и о-ва Кунашир, розового гребешка *Chlamys erythrogomatus* из района о-ва Парамушир (Курильские острова). Исходными для последующей математической обработки служили величины суточных приростов, наблюдаемых на поверхности раковин в виде концентрических колец и выделенных на поперечных срезах с помощью ацетатных реплик. Многолетние ритмы роста исследовались на раковинах мидии *Stenomytilus grauanus*, собранных в бухте Лазурной Уссурийского залива Японского моря на глубине 1—6 м. Они определялись по модульным коэффициентам, рассчитанным по величинам годовых приростов. Параллельно исследовалась динамика изменений суточных значений температуры и солености морской воды в местах обитания моллюсков.

В отличие от предшествующих исследований для выявления колебаний темпов роста моллюсков был применен математический аппарат, позволивший описать этот сложный процесс как сумму нескольких гармонических, аперриодической и случайной компонент. Результаты измерений приростов раковин и среднесуточных значений температуры и солености воды в местах обитания моллюсков представляют собой конечные числовые ряды из 130—260, а при выявлении многолетних ритмов — из 46—90 членов.

Данные обрабатывались с использованием теории стационарных случайных процессов, рассчитывалась корреляционная функция, и по ней определялись основные периодичности. С целью проверки результатов и выделения других периодов были рассчитаны периодограммы, а для оценки основного периода первоначального ряда измерений — структурная функция.

Расчеты показали, что величины суточных приростов раковины *Patinopecten* изменялись в течение года с периодами 7—8 и особенно 13—14 сут. С такой же периодичностью изменялись значения температуры и солености воды в местах обитания моллюсков. У *Spisula* периоды колебаний приростов равны 7—8 и 13—15 сут. Близкая периодичность, примерно двухнедельной продолжительности, описана и у многих других современных двустворчатых моллюсков (Barker, 1964; Pannella, McClintock, 1968; Evans, 1972; Farrow, 1972). Для роста розового гребешка выявлены лунные полумесячные и месячные ритмы. По замедлениям роста при низких зимних и высоких летних температурах у спизулы сахалинской выделены полугодовые циклы. Сложной оказалась периодичность роста мидии Грейана. Для нее характерны ритмы из 2—3, 4—5, 8—9 и 11—

14 лет. Наиболее отчетливы ритмы короткой продолжительности, появление которых, возможно, связано с факторами, изменяющимися более закономерно. В связи с этим большой интерес представляют данные С. И. Потайчука (1972) о периодах колебаний температуры воды в различных районах Северной Атлантики продолжительностью около 2, 4—5 и 10—12 лет. Г. К. Ижевский (1961) обнаружил многолетние ритмы колебаний биомассы промысловых рыб и других организмов из 1—2, 4—6, 8—10, 18—20 лет.

Установленные периодичности можно связать с флуктуациями потока биогенных соединений, термических, гидрологических и других условий в море. В свою очередь эти изменения зависят от ритмики космических факторов, прежде всего от солнечной активности, на что впервые обратил внимание основоположник гелиобиологии А. Л. Чижевский (1930). Отчетливая связь роста скелетных образований кораллов и моллюсков с космическими факторами прослежена рядом ученых.

Д. Уэллс (Wells, 1963), исследовав динамику образования тонких «дневных» колец на эпитеке кораллов различного геологического возраста из штата Нью-Йорк в США, нашел, что девонские фавозитиды в год выделяли от 385 до 410 колец, каменноугольные ругозы — 385—390 колец, в то время как современный коралл откладывает около 360 колец. Эти данные ясно свидетельствуют об уменьшении в ходе геологической истории Земли количества дней в году и подтверждают отмеченное геофизиками постепенное замедление скорости вращения нашей планеты вследствие приливного взаимодействия между ней и Луной.

Строматолиты, особенно конические, известные с протерозоя, также обнаруживают суточную, месячную, годовую и многолетнюю периодичность известывыделяющей деятельности образующих их синезеленых водорослей и бактерий — древнейших безъядерных организмов земной биосферы. Вл. А. Комар, М. Е. Раабен и М. А. Семихатов (1965) биометрически показали специфичность скоростей роста отдельных видов строматолитов рифея СССР и тем самым открыли возможность проследить направленность подобной эволюции от протерозоя до наших дней. Для позднего кембрия по строматолитам и раковинам моллюсков показана 32-дневная продолжительность месяца. Девонский месяц, по подсчетам тонких линий роста на эпитеке кораллов, продолжался 30,6 дня (Раул, Стэйли, 1974). Это позволяет предполагать, что необратимо направленным было и изменение суточной продолжительности месячных периодов. Вероятно, в процессе развития земной коры и биосферы возрастала длина дня, а число дней в месяце и соответственно в году уменьшалось. Конечно, эти выводы являются предварительными и требуют дальнейшей строгой статистической проверки, однако они открывают возможности определе-

ния геологического возраста и хронологии событий, связанных с конкретными разрезами отложений и объект-процессами, по динамике величин приростов скелетного вещества за определенные промежутки внешнеотсчетного астрономического времени.

Метод склерохронологии имеет явные преимущества перед методами абсолютной геохронологии, основанными на радиоактивном распаде изотопов: он почти не зависит от диагенетических преобразований и степени метаморфизма исследуемого вещества, а его главным ограничением является лишь то обстоятельство, что число дней в астрономическом году изменяется со скоростью один день за 10 млн. лет. В отличие от радионуклидных шкал астрономические шкалы дают возможность учитывать направленность и неравномерность движения системы Земля — Луна — Солнце, ввести в сферу рассмотрения параметр скорости движения и в конечном счете рассчитывать полярность, силу и энергию движения. Наконец, обнаруживаемое с помощью анализа линий роста скелетных частей организмов прошлого замедление годовой и месячной периодичности движения в системе Земля — Луна — Солнце нельзя не поставить в связь с выявленным С. Н. Бубновым совершенно иными методами сокращением продолжительности циклов тектогенеза. Согласование классических относительных шкал времени геологических процессов с внешнеотсчетными астрономическими шкалами — насущная задача ближайшего будущего.

Количество энергии, получаемой Землей из космоса, определяется ее вращением вокруг своей оси и вокруг Солнца. Эта энергия влияет на состоящие атмосферы и гидросферы, которые в свою очередь обуславливают направленность развития фауны и флоры. Поэтому переход к количественным характеристикам направления, скорости, силы и энергии движения представляется одним из наиболее перспективных путей развития склерохронологии. Астрономический год является исключительно интересной характеристикой для оценки эволюции взаимодействия космических факторов и биосферы. Весьма примечательно, что процесс развития организмов, запечатленный в регистрирующих структурах их скелетных частей, оказывается включенным в ритм эволюции Земли.

В скелетных частях организмов заключена обширная информация о взаимодействии между ними и факторами внешней среды. Извлекая эту информацию в виде некоторых параметров, мы можем судить не только о последовательной смене отношений в системе организм — среда и длительности событий, но и коррелировать события, происходившие одновременно в различных местах земной поверхности. Так, можно сравнивать кривые роста скелетных образований. Обнаружение значительного перекрытия кривых у сравниваемых образцов будет означать, что они происходят из одной популяции. Отсут-

стве корреляции будет указывать на то, что анализируемое сообщество не было популяцией (Clark, 1968). Если кривые для разных образцов оканчиваются в одной точке, это свидетельствует об одновременном прекращении роста в результате воздействия какого-то фактора (к примеру, погребения под осадками, резкого изменения температурных условий обитания или солености окружающих водных масс).

Подобные сопоставления представляются крайне существенными в палеоэкологических исследованиях, ибо позволяют определять абсолютные и относительные значения условий среды былых геологических эпох, подобно тому как использование на аналогичных измерениях величины колец роста использование древесных остатков в дендрохронологии дает возможность датировать события недавнего прошлого и оценивать климатические изменения. И хотя связь между шириной колец роста и природными условиями, контролирующими рост деревьев, очень сложна, по динамике образования древесных колец получены вполне достоверные сведения о климатических и гидрологических условиях четвертичного периода (Фритс, 1968). Особенно интересные данные об изменениях климата в четвертичном периоде получены при изучении роста *Sequoia*, возраст которых исчисляется тысячами лет. Значительная роль данных о скелетогенезе древних организмов в склерохронологии отчетливо проявляется в ряде интересных исследований.

Т. Ма (Ma, 1937), экспериментально прослеживая рост современных кораллов, установил его прямую связь с температурой. Основываясь на этих результатах, он детально исследовал ископаемые кораллы из различных районов земного шара и пришел к выводу о различиях в периодичности роста тропических и субтропических форм. Палеогеографические реконструкции распространения силурийских табулят (с различным типом роста) привели к признанию гипотезы континентального дрейфа и смещений земной коры по мантии.

По данным Б. С. Соколова (1955), периодичность роста скелетных частей проявлялась одновременно у представителей самых различных донных беспозвоночных, населявших палеозойские моря на месте Прибалтики, — табулят, гелиолитид, ругоз, мшанок и строматопорондей, что несомненно указывает на ее связь с сезонными изменениями условий среды. К близким выводам пришел Н. Я. Спасский (1967) на основании изучения роста ругоз девона. К. Г. Войновский-Кригер (Voinovskiy-Krieger, 1930) и Н. С. Бендукидзе (1951) установили, что изменения скорости роста древних кораллов связаны, в частности, с периодичностью накопления осадков.

А. Д. Фишер (1968) заметил, что по характеру ритмичности силурийские кораллы разделяются на две группы: с ритмичностью более 80 и менее 36%. Наименьшая скорость роста характерна для *Heliolites*, вдвое быстрее росли *Favosites*.

Самые низкие величины прироста обнаружены у всех групп исследованных кораллов для районов Босфора, Кентукки — Теннесси, наивысшие — для западного побережья Тихого океана. Тем самым подтвердились выводы Т. Ма о двух зонах обитания силурийских кораллов — субтропической и тропической. Судя по ритмике роста табулят, субтропические формы развивались в условиях сезонных изменений климата, тропические — при теплом, мало изменявшемся климате. Распространение табулят с различным характером роста вполне согласуется с моделью «полярно смещенного экватора».

Изотопные и атомные индикаторы времени

Сопоставление кривых соляриной инсоляции и кривой изменения $\delta^{18}\text{O}$ в раковинном кальците планктонных фораминифер экваториальной Атлантики за последние 300 тыс. лет отчетливо иллюстрирует возможности применения изотопных индикаторов для оценки хода геологического времени: максимумы пониженной температуры в холодные эпохи, выявленные независимыми друг от друга методами, совпали по количеству и интенсивности периодических изменений (Шараф, Будникова, 1969). Контроль хронологического подразделения содержащих остатки фораминифер отложений донной колонки для верхней части с помощью датировок по ^{14}C , для остальной — протактиниево-ториевым методом подтвердил правомочность такого подхода к корреляции событий геологического прошлого. Однако земные события по отношению к соответствующим изменениям в космосе (инсоляция) запаздывают примерно на 8 тыс. лет (Брёкер, 1968).

Весьма показательна также корреляция кривых соотношения тепло- и холодолюбивых ассоциаций планктонных фораминифер и палеотемпературных изменений, рассчитанных по $\delta^{18}\text{O}$ в раковинном кальците (Девдаргани, 1974). Параллелизм изменения экологических группировок фораминифер и температур роста их раковин не вызывает сомнений. И в данном случае осуществленные независимыми методами реконструкции хода климатических изменений во времени согласуются между собой.

На основе палеонтологических и палеобioхимических данных недавно была сделана попытка восстановить для Северной Атлантики временной ход изменения сообщества моллюсков и условий их обитания в позднем кайнозое. В разрезе плиоцено-плейстоценовых отложений Исландии Ю. Б. Гладенкову удалось выделить остатки нескольких, смешивающих друг друга по вертикали комплексов моллюсков, принадлежащих разным биогеографическим типам: южнобореальному и северобореальному. Анализ комплексов моллюсков и материалы по распространению ледниковых отложений в исландском разрезе позво-

лили сделать вывод о постепенном похолодании в этом районе в плиоцене — эоплейстоцене.

Температурные условия обитания позднекайнозойских моллюсков были изучены нами с помощью метода изотопно-кислородной термометрии (Гладенков и др., 1975). Исследовался изотопный состав кислорода раковин *Arctica islandica* из отложений плио-плейстоцена п-ова Тьернес и современных моллюсков этого вида, обитателей сублиторали у исландских берегов. В сравнительном плане проанализированы также раковины из вюрмских отложений Шпицбергена. Из-за того что карбонат кальция древних моллюсков не всегда устойчив к воздействию диagenетических факторов, все пробы предварительно подверглись рентгеновскому анализу. В большинстве случаев исландские раковины оказались арагонитовыми. Они и изучались в дальнейшем масс-спектрометрически.

Полученные результаты хорошо согласуются со сделанными ранее палеобιοгеографическими выводами. Наиболее древний горизонт морских отложений в разрезе Тьернес (зоны Tapes и Mastga) включает раковины моллюсков южнобореального типа, температуры роста которых колеблются от 8,3 до 10,6° С. Второй горизонт (зона Serripes), содержащий раковины моллюсков бореального типа, характеризуется температурами 7,2—8,0° С. Для третьего горизонта (Бредайвик) с раковинами северобореальных по происхождению моллюсков определены наиболее суровые температурные условия — от 3,6 до 6,7° С. Нетрудно заметить последовательное снижение температур от относительно высоких в плиоцене до низких в эоплейстоцене. Весьма суровыми были и позднеледниковые (вюрмские) условия на Шпицбергене, где средняя температура роста *Arctica* составила 5,2° С. У современных представителей этого же вида средняя температура роста (без поправки на изотопный состав воды) достигает, по полученным данным, 7,1° С.

О синхронности изменений фауны, флоры и палеотемператур в конце кайнозоя свидетельствуют сравнительные данные и по другим районам земного шара. Так, на южных склонах Большого Кавказа непосредственно под древнейшими ледниковыми отложениями акчагыла залегает акдаринская свита с остатками субтропической флоры (Ковалевский, 1957); наши данные о резком снижении изотопных палеотемператур по мере приближения ледникового времени на севере Чукотки (Краснов, 1974) параллелизуются с аналогичными данными о доледниковых условиях Аляски (Allison, 1973); бурением с судна «Гломар Челленджер» в Атлантике к северу от п-ова Лабрадор доказано, что древнейшие холодолюбивые сообщества морских организмов появились здесь около 3 млн. лет назад.

Таким образом, комплексное изучение изотопных палеотемператур и изменений ассоциаций фауны и флоры повсеместно позволяет установить переломный момент времени, связанный

с инверсией температурных условий. Это — акчагыльский век. Палеомагнитная корреляция пород западных районов Северной Америки и Восточной Европы, Африки и Исландии (Кокс и др., 1968) в еще большей степени подтверждает этот вывод. Эпоха нормальной магнитной напряженности (Гаусса), характеризующая отложения акчагыла и его возрастные аналоги в других регионах, пришла на смену эпохе обратной напряженности (Гилберта) около 3,4 млн. лет назад. Вслед за этим событием регистрируются древнейшие оледенения Исландии, а также соответствующие изменения изотопных палеотемператур и состава фауны моллюсков этого района.

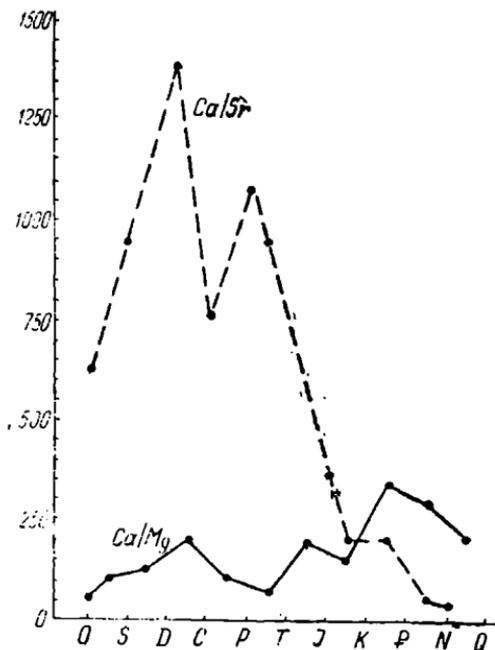
Конечно, корреляция между инверсией, инверсиями магнитного поля и изотопными индикаторами хода геологического времени не приводит нас к автоматическому признанию причинно-следственных связей между столь разнородными явлениями. Такого рода связи могут быть установлены только после того, как будут выяснены механизмы взаимодействия этих факторов. На современной стадии изученности этих явлений следует лишь подчеркнуть возможность синхронизации, определения длительности и последовательности геологических событий с помощью изотопных характеристик скелетного вещества древних организмов.

В динамике атомных отношений, характеризующих скелетные части животных, обладавших карбонатным составом, также может быть прослежена хронологическая направленность. К примеру, Ca/Mg и Ca/Sr — индексы скелетного вещества рифовых кораллов обнаруживают циклически необратимую направленность изменений от ордовика — силура до неогена — четвертичного периода (рисунок). В этих атомных отношениях можно уловить необратимый в целом характер адаптивных перестроек биогеоценозов прошлого и, следовательно, получить новые объективные критерии для ранжирования отложений по временной оси.

При любых попытках использования изотопных и атомных отношений в стратиграфических целях необходимо учитывать не только генетически детерминированные различия этих биогеохимических характеристик хода времени, но и степень вторичных преобразований скелетных частей ископаемых организмов.

Левизна — правизна скелетных образований как индикатор биологического времени

Известно, что в морфологии живых организмов господствуют кривые линии и поверхности как первичные проявления их симметрии (Вернадский, 1975). В то же время с момента открытия Луи Пастера биохимиков не перестает удивлять преобладание левизны живого вещества; у животных и растений все



Изменения Ca/Mg и Ca/Sr отношений в скелетном веществе рифовых кораллов с ходом геологического времени

белки и составляющие их аминокислоты обладают левым вращением плоскости поляризованного света, все кристаллические соединения, входящие в состав живых клеток (алкалоиды, глюкозы, сахара) также левые. Вектор времени в биологическом пространстве, как отмечал В. И. Вернадский, не может быть только полярным, он должен быть и энантиоморфным. Отражением этого свойства и является левизна — правизна. Прекрасным подтверждением глубины этой мысли основоположника биогеохимии является, на наш взгляд, временная динамика лево- и правозавернутых форм в популяциях планктонных фораминифер, относящихся к широко распространенному виду *Globigerina pachyderma*.

А. Кхерадпир (Kheradpir, 1970), исследуя колонки плио-плейстоценовых отложений Тихого океана во впадине Таннер к западу от Лос-Анджелеса, обнаружил в массовом количестве раковины глобигерин с разным направлением завернутости — левым и правым. Есть основание рассматривать этот феномен в качестве примера устойчивого полиморфизма, поскольку как лево- так и правозавернутые формы одновременно существуют в популяциях фораминифер. От позднего плиоцена до современной эпохи в бассейне Таннер дважды сменились холодноводные и тепловодные ассоциации этих простейших существ: в первой доминировали левозавернутые, во второй — правозавернутые формы. Это хорошо коррелируется с чередованием ледниковых и межледниковых эпох, низких и высоких

изотопных температур. В данном примере можно видеть циклический процесс изменения левизны — правизны во времени, процесс, очевидно сопряженный с мутагенезом глобингемии под воздействием изменяющихся температурных условий обитания.

Второй пример левизны — правизны как индикатора времени связан с аминокислотами, заключенными в скелетных частях древних организмов. В живом веществе обнаружен только левый изомер аминокислот. После смерти организма он начинает преобразовываться в правый изомер. По изменению их отношений можно получить информацию о времени, прошедшем с момента гибели существа, скелетные части которого попали в руки исследователя. Таким путем уже делались попытки определения возраста палеоценовых акул, а в настоящее время исследуют возраст костей доисторического человека, найденного в ущелье Олдовой в Танзании. Применение этого метода склерохронологии ограничивается значительным изменением температуры среды, окружающей остаток с момента гибели организма.

З а к л ю ч е н и е

Мы рассмотрели ряд способов хронологизации событий, связанных с взаимодействиями живого вещества и факторов среды. Некоторые способы уже сегодня могут считаться надежными для интегральных характеристик временных отношений в конкретных объект-процессах геологического прошлого Земли. Поэтому вслед за рядом авторов (Hudson et al., 1976) склерохронологию можно считать вполне валидным способом определения возраста, длительности и последовательности геологических событий.

ЛИТЕРАТУРА

- Бендукидзе Н. С. Заметка о некоторых скелетных элементах, о росте и размножении верхнеюрских кораллов. — Тр. Геол. ин-та ГрузССР, Тбилиси, 1951, с. 199—208.
- Брёкер У. Геохимия изотопов и реконструкция климатов плейстоцена. — В кн.: Четвертичный период в США. М., 1968, с. 473—501.
- Бубнов С. Н. Основные проблемы геологии. М., 1960. 233 с.
- Вснадский В. И. Размышления натуралиста. Пространство и время в живой и живой материи. М., 1975, 175 с.
- Гладенков Ю. Б., Краснов Е. В., Игнатьев А. В., Шейгус В. Е. О температурных условиях обитания позднекайнозойских моллюсков Северной Атлантики. — ДАН СССР, 1975, т. 223, № 1, с. 176—177.
- Девдариани А. С. Сигналы из глубин Земли и ее геологического прошлого. М., 1974. 104 с.
- Золотарев В. Н. Многолетние ритмы роста раковин мидии Грайана. — Экология, 1974, № 3, с. 76—80.
- Ижевский Г. К. Океанологические основы формирования промысловой продуктивности морей. М., 1961. 306 с.
- Ковалевский С. А. Крionoген. — Зап. Казанский ун-та, 1957, т. 25, с. 3—19.
- Кокс А., Долл Р., Далримпл Дж. Палеомагнитная стратиграфия четвертичных отложений. — В кн.: Четвертичный период в США. М., 1968, с. 592—612.

- Комар Вл. А., Раабен М. Е., Семихатов М. А.** Колофитоны рифей СССР и их стратиграфическое значение. М., 1965. 73 с. (Тр. ГИН АН СССР; Вып. 131).
- Краснов Е. В.** О корреляции циклических изменений солнечной радиации, палеотемператур и органического мира в криогене.— В кн.: Космос и эволюция организмов: Материалы совещания «Космические факторы и эволюция органического мира». М., 1974, с. 269—275.
- Потайчук С. И.** Некоторые результаты статистического анализа долгопериодной изменчивости температуры воды в Северной Атлантике.— Тр. ВНИРО, 1972, вып. 75, с. 125—134.
- Пресман А. С.** Планетно-космические основы организации жизни.— В кн.: Космос и эволюция организмов: Материалы совещания «Космические факторы и эволюция органического мира». М., 1974, с. 18—35.
- Рауп Д., Стэнли С.** Основы палеонтологии. М., 1974. 390 с.
- Силина А. В., Краснов Е. В., Явнов С. В.** Периодичность роста некоторых видов двусторчатых моллюсков дальневосточных морей.— Биол. моря, 1976, № 4, с. 32—37.
- Соколов Б. С.** Табуляты палеозоя европейской части СССР. Введение.— Тр. ВНИГРИ, 1955, вып. 85, 527 с.
- Спасский Н. Я.** Палеоэкология четырехлучевых кораллов.— Палеонтол. ж., 1967, № 2, с. 7—14.
- Фишер А. Д.** Характер роста силурийских табулят как палеоклиматический и палеогеографический признак.— В кн.: Проблемы палеоклиматологии. М., 1968, с. 393—401.
- Фритс Х.** Дендрохронология.— В кн.: Четвертичный период в США. М., 1968, с. 667—681.
- Чижевский А. Л.** Эпидемические катастрофы и периодическая деятельность Солнца. М., 1930. 92 с.
- Шараф Ш. Г., Будника Н. А.** Вековые изменения элементов орбиты Земли и астрономическая теория колебаний климата.— Тр. Ин-та теорет. астрономии, 1969, вып. 14, с. 48—85.
- Allison R. C.** Marine palaeoclimatology and palaeoecology of Pleistocene invertebrate fauna from Amchitka Islands, Alaska.— Palaeogeogr., Palaeoccol., Palaeoclim., 1973, vol. 13, N 1, p. 15—48.
- Barker R. M.** Microtextural variation in pelecypod shells.— Malacologia, 1964, vol. 2, N 1, p. 69—86.
- Clark G. R.** Mollusk shell: daily growth lines.— Science, 1968, vol. 161, N 3843, p. 800—802.
- Evans G. M.** Tidal growth increment in the cockle *Clinocardium nuttali*.— Science, 1972, vol. 176, N 4033, p. 416—417.
- Farrow G. E.** Periodicity structures in the bivalve shell: analysis of stunting in *Cerastoderma edule* from the Burry Inlet (South Wales).— Palaeontology, 1972, vol. 15, N 1, p. 61—72.
- Hudson J. H., Shinn E. A., Halley R. B., Lidz B.** Sclerochronology: a tool for interpreting past environments.— Geology, 1976, vol. 4, N 6, p. 264—264.
- Kheradpir A.** Foraminiferal trends in the Quaternary of Tanner Basin, California.— Micropaleontology, 1970, vol. 16, N 1, p. 102—116.
- Kroll J.** Climate and times. London, 1875. 25 p.
- Ma T. Y. H.** On the seasonal growth in Palaeozoic tetracorals and the climate during the Devonian period.— Paleontol. Sinica, ser. B, 1937, vol. 11, p. 3—97.
- Milankovich M.** Théorie mathématique des phénomènes thermiques produits par la radiation solaire. Paris, 1920. 339 p.
- Milankovich M.** Mathematische Klimalehre und astronomische Theory der Klimaschwankungen.— Köppen — Geiger, Handb. Klimat. I, A, Berlin, 1930. 176 S.
- Pannella G., McClintock C.** Biological and environmental rhythms reflected in molluscan shell growth.— J. Paleontol., 1968, vol. 42, suppl. to N 3, p. 64—80.

- Voinovskij-Krieger C.** Zur Kenntnis der inneren Baues der Korallen Rugosa (eine Kritik der Theorie der Septalkegel). — Изв. АН СССР. Отд. физ.-мат наук, сер. 7, 1930, № 4, с. 311—330.
- Wells J. W.** Coral growth and geochronometry.— Nature, 1963, vol. 197, N 4871, p. 948—950.

О ВОЗРАСТНОМ РАСЧЛЕНЕНИИ И ПЕРИОДИЗАЦИИ РАННЕГО ДОКЕМБРИЯ

Введение

Относительно возрастного расчленения раннего докембрия, как известно, единого мнения нет. Сами принципы такого расчленения зачастую резко расхожи. Ведущая роль в корреляции и измерении возраста раннедокембрийских геологических тел и событий принадлежит, по мнению большинства специалистов, физическим -- изотопным методам. Однако использование непрерывной и однородной изотопной шкалы в стратиграфических, корреляционных целях ограничено, так как дискретность и неравномерность распределения изотопных датировок делают в общем случае невозможным построение изохронных поверхностей (Шульдинер, 1978). Исключением, очевидно, могут быть лишь те частные случаи, когда эти датировки совпадают друг с другом, т. е. когда они фиксируют глобальные события. Очевидно, что общая шкала расчленения раннего докембрия должна иметь в основе естественные рубежи планетарного значения.

Глобальные рубежи, запечатленные в геологических документах, могут иметь разную природу (изменение магнитного поля Земли, воздействие космических факторов и т. п.). В настоящее время надежно распознаны и датированы лишь те рубежи, которые являются эпохами тектонической активности (диастрофизма) и фиксируются массовыми проявлениями магматизма и метаморфизма. Поэтому возможность коррелировать разобщенные осадочные и метаморфические толщи отсутствует, мы сопоставляем по времени лишь некоторые уровни, соответствующие перерывам в осадконакоплении. Как отмечал М. А. Семпхатов (1974, с. 14), содержанием главных подразделений докембрия становятся «не определенные комплексы супракристаллических пород..., а отрезки времени, разделяющие смежные складчатости», -- стратиграфические корреляции подменяются хронологическими.

Таким образом, самый способ измерения геологического времени изотопными методами подсказывает и способ его разбиения, в основе которого должна лежать естественная периодизация геологических событий. Реально распознаваемыми изохронными рубежами раннедокембрийской истории

являются тектонические события планетарного значения, следовательно, ее периодизация должна быть произведена на тектонической основе. А поскольку такие тектонические события представляют собой повторяющееся явление, основой периодизации должна быть цикличность тектонических событий.

Основу периодизации с позиций другого подхода, вытекающего из геологического анализа, должна составлять не цикличность, а стадийность развития неорганического мира, отражающая необратимость и неповторимость изменений в жизни Земли (Хаин, 1972; Cloud, 1972; и др.). Такой подход обладает рядом неоспоримых преимуществ, так как позволяет осуществить собственно стратиграфические корреляции и тем самым наполнить временные подразделения геологическим содержанием. Вместе с тем применение этого метода, если оно не подкреплено данными изотопной хронометрии, наталкивается на существенные трудности. Во-первых, самую неповторимость тех или иных геологических явлений трудно доказать без использования независимых определений возраста. Во-вторых, границы выделяемых стадий чаще всего оказываются размытыми, резкие переломы отсутствуют, так что эти границы приходится намечать условно, совмещая их с более четкими границами тех же тектонических циклов, хотя их совпадение может быть только кажущимся. Все это заставляет в поисках рационального решения вопроса сочетать оба подхода, отдавая предпочтение цикличности при установлении границ подразделений докембрия и стадийности при установлении иерархии и внутреннего содержания этих подразделений.

Приняв за основу геохронологической шкалы цикличность, выберем в качестве ее элементарного тектоно-хронологического подразделения тектоническую эру, т. е. время проявления геосинклинального цикла (по В. Е. Хаину, 1971). В раннем докембрии отчетливо устанавливаются по меньшей мере два геологических цикла, которые завершились карельской (1,7 млрд. лет назад) и кеноранской (2,6 млрд. лет) эпохами диастрофизма (таблица). Собственно этими двумя возрастными рубежами и ограничивается список надежно установленных изохронных поверхностей в дорифейское время. Другие рубежи хуже изучены или менее четко выражены; в частности, плохо изучен уровень, знаменующий завершение третьей, еще более древней, тектонической эры (примерно 3,5 млрд. лет назад).

Чтобы выявить иерархию названных рубежей, рассмотрим особенности разделяемых ими эр. Начнем с позднего рубежа — 1,7 млрд. лет — и попытаемся определить его значение, проследив эволюцию карельских и рифейских структур на рассмотрении окружающих Тихий океан континентальных массивов Северной Америки, Восточной Азии и Австралии.

Схема главных стратиграфических и тектоно-стратиграфических подразделений докембрия

Мегахроны	Тектонические эры и соответствующие стратиграфические подразделения	Примерный возраст границ, млрд. лет	Главные эпохи диастрофизма
	Фанерозой и венд	0,68	
Неогей	Рифей	Верхний — 0,95	Гренвиллская
		Средний — 1,35	
		Нижний — 1,7	
	Карелий	Неокарелий — 2,0	Карельская
Палеокарелий — 2,6			
Протогей	Онтарий	2,6	Кеноранская
Эогей		3,5	

Карелий и рифей Северной Америки

В основу описания североамериканского докембрия положены опубликованные ранее сводки (Шульдинер, 1973; Башарин, Шульдинер, 1976), несколько дополненные новыми или неучтенными материалами.

Карельская структура. К концу карелия большая часть Северо-Американского континента была охвачена мощным диастрофизмом, создавшим сложную складчатую структуру в карельских отложениях и модифицировавшим структуру более древних образований. Складчатые движения не проявились (или проявились слабо) лишь на трех-четырёх участках. Наиболее крупные — карельские протоплатформы Сьюпириор и Слейв; об их устойчивости свидетельствуют сохранность докарельских изотопных соотношений в кристаллических горных породах и наличие остатков карельского платформенного чехла. Устойчивой областью в карелии была, по-видимому, также Гренландия; не исключено, что подобная область существовала и на восточной окраине континента. Складчатые структуры карельских подвижных зон (Черчилл, Бэр, Нейн и др.) облакают протоплатформы.

Раннерифейская структура. В раннем рифее континент в целом отличался платформенным характером развития. Вместе с тем тектонический режим в разных его частях не был одина-

ков, и в соответствии с этим могут быть реконструированы три различно построенные структурные зоны, протягивающиеся через континент в северо-восточном направлении (рис. 1а). Особенности этих зон лучше изучены в пределах современной платформы.

Северо-западная зона в раннем рифее представляла собой плиту, в пределах которой происходило накопление осадков платформенного чехла. Вдоль юго-восточной окраины плиты чехол сложен в основном грубообломочными образованиями, преимущественно песчаниками речного (дельтового) происхождения. Севернее преобладают морские мелководные осадки: кварцевые песчаники, алевролиты и аргиллиты, а также карбонатные породы, обычно тяготеющие к верхам разреза. В крайних северо-западных выходах нижнего рифея ведущая роль принадлежит известнякам и доломитам, содержащим характерные прослои гипсов и ангидритов. Мощность чехла обычно не превышает 3—4 тыс. м. Распределение фаций указывает на наличие области размыва на юго-востоке и на переход в сторону открытого моря на северо-западе.

В центральной зоне континента нижнепериферийские отложения отсутствуют. Эта зона представляла собой, по-видимому, пологий размывавшийся свод — щит. Лишь у юго-восточной границы местами накапливались кварцевые пески, вероятно выполнявшие изолированные прогибы.

В пределах юго-восточной зоны изотопный возраст кристаллических пород фундамента, в отличие от других районов континента, где он, как правило, превышает 1,6 млрд. лет, сравнительно небольшой — от 1,45—1,35 до 1,15—0,95 млрд. лет. Было принято считать, что эти величины указывают на истинный возраст формирования кристаллических пород, т. е. на возраст, соответствующий так называемым эльсонской (раннерифейской) и гренвиллской (среднерифейской) складчатостям. В настоящее время становится все более ясным, что возраст этих пород дорифейский (о чем свидетельствует их сходство с породами древнейших провинций Канадского щита и все увеличивающееся число реликтовых изотопных датировок в рамках 1,5—1,8 млрд. лет и более) и что изотопное омоложение фундамента связано с тектоно-магматической активизацией. Активизация проявилась во внедрении гранитов умеренной и малой глубинности и в излияниях кислых лав, слагающих обширные педислоцированные покровы. Большая часть омоложенных пород имеет среднерифейский изотопный возраст, но в сравнительно узкой области вдоль северо-западной окраины рассматриваемой зоны изотопные датировки соответствуют более древним, эльсонским, событиям, что позволяет относить начало процесса активизации к раннему рифею.

Все три структурные зоны прослеживаются в область современных Кордильер (рис. 1а).

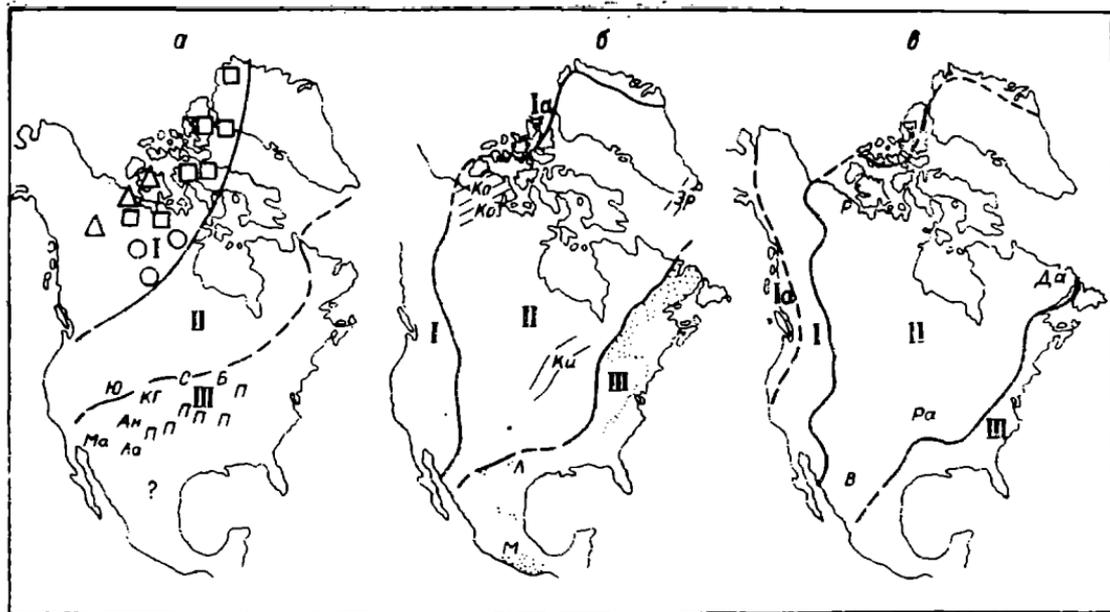


Рис. 1. Эволюция позднекембрийской структуры Северной Америки.

а — раннерифейская структура. I — плита (кружки — выходы платформенного чехла терригенного состава, квадраты — терригенно-карбонатного, треугольники — карбонатного); II — щит (выходы кварцитов на юго-восточной окраине: Б — Барабу, С — Су, Ю — Юинта-Маунтин и Биг-Коттонвуд); III — зона тектоно-магматической активизации (выходы кварцитов: Ан — Алкомшагре, КГ — Кол-Крик и Гудсберн-Галч, Ла — Ланорня, Ма — Мазатал, П — область распространения кислых эффузивов Панхандл).

б — среднерифейская структура. I и Ia — перикратонный прогиб (кордильерская и полярная ветви); II — щит (авлакогены: Ко — Копиермайн, Ки — Кивино, Эр — Эрикс-фьорд); III — зона тектоно-магматической активизации — Гренвиллский пояс (точки — выходы на поверхность кристаллического фундамента, омоложенного 1,1—0,9 млрд. лет назад, Л и М — выходы кислых эффузивов на поднятии Льяно и близ Мехико).

в — позднерифейско-вендская структура. I — геосинклинальный прогиб Кордильер и его возможное продолжение в полярной области, Ia — предполагаемое положение эвгеосинклинальной зоны; II — щит (выходы чехла: В — Ван-Хорн, Да — Дабл-Мер, — Р — Рей, Ра — Райс); III — эвгеосинклинальный прогиб Аппалачей и его возможное продолжение в Центральной Америке.

В Канадских Кордильерах нижняя возрастная граница рифейских отложений нигде точно не определена. По традиции эти отложения коррелируют со среднерифейской серией Белт, однако некоторые из них имеют скорее раннерифейский возраст. Так, дорифейские отложения гор Огилви резко отличаются от существенно терригенных образований серии Белт преобладанием карбонатных отложений и присутствием эвапоритов. По составу и формационному облику эти образования могут быть сопоставлены с нижнерифейскими толщами прилегающих районов платформы. Интересны также новые данные по гнейсовым куполам метаморфического комплекса Шусуоп на юге Канадских Кордильер. Купола состоят из гнейсо-мигматитовых ядер, окаймленных метаосадочными породами. Последние, по мнению канадских геологов, имеют палеозойский или вендский возраст, происхождение же центральных гнейсов спорно: их рассматривают либо как дорифейское основание, либо как глубоко метаморфизованные части рифея. Возраст метаморфизма считается мезозойским. Разрез метаосадочного обрамления местами включает в качестве важнейшего элемента (до 50% мощности) кварциты. Разрезы подобного типа неизвестны ни в венде — палеозое, ни в среднем — верхнем рифее Канадских Кордильер. Вместе с тем мощные толщи кварцитов, судя по прилежащим районам Канадского щита, характерны для платформенных отложений нижнего рифея. На платформенный тип разреза указывает также присутствие в нем биотит-роговообманко-нефелиновых сненитовых гнейсов и биотит-альбит-кальцитановых пород, представляющих собой дометаморфические интрузии щелочных сненитов и карбонатитов; как мы увидим ниже, начиная со среднего рифея западная окраина материка приобрела черты тектонической подвижности, в обстановке которой внедрение щелочного комплекса сомнительно. Наиболее вероятно, таким образом, что метаосадки кровли Шусуопских куполов относятся в своих низах к платформенному нижнему рифею.

В Центральных Кордильерах (штаты Монтана, Айдахо) нижний рифей отсутствует, как он отсутствует на прилегающей части платформы, лишь на юге имеются разобщенные выходы нижнерифейских кварцитов, аналогичных кварцитам центральной части современной платформы. Еще южнее, на продолжении зоны эльсонской активизации в Кордильерах, такие же кварциты ассоциируются с кислыми эффузивами и отличаются интенсивной дислоцированностью и метаморфизованностью; здесь, как и на платформе, распространены раннерифейские гранитоиды, с которыми связывают изотопное омоложение фундамента.

Все приведенные данные позволяют полагать, что западная окраина рассматриваемого материка характеризовалась единой с остальной частью континента тектонической зональностью и

входила в состав единой раннерифейской платформы.

Среднерифейская структура. В среднем рифее тектоническая обстановка на континенте изменилась.

Это прежде всего выразилось в заложении огромного прогиба, протянувшегося в виде неправильной дуги вдоль западной и северной окраин материка (рис. 1б).

На большей части Кордильер разрезы среднего рифея отличаются однообразием и монотонностью. Преобладают сероцветные тонкообломочные отложения — аргиллиты, алевролиты, в меньшей мере кварциты и песчаники, которым подчинены карбонатные породы, главным образом доломиты, содержащие обильные органические остатки. Отложения отличаются признаками мелководного происхождения. Они фациально устойчивы, лишь у восточной границы их распространения, которая примерно совпадает с бывшей границей бассейна седиментации, отмечается возрастание роли грубообломочных фаций. Мощность отложений велика и местами намного превышает 10 тыс. м. В разрезе наблюдается ряд перерывов, но сколькихнибудь существенные несогласия отсутствуют.

Несколько иной характер среднерифейские отложения имеют на юге США благодаря большому развитию кварцитов и грубообломочных пород, наличию более резко выраженных перерывов и несогласий внутри разреза и меньшей мощности (до 5 тыс. м).

Тем не менее в целом Кордильерский прогиб в среднем рифее характеризовался ярко выраженной тектонической однородностью, что не позволяет считать данную стадию его развития геосинклинальной. Канадские геологи, в частности, определяют среднерифейский прогиб как область стабильного шельфа. Его своеобразие отмечают и советские тектонисты, посещавшие Кордильеры. Так, по мнению Н. А. Богданова (1975), рассматриваемая структура больше напоминает перикратонный прогиб, чем геосинклираль.

Менее ясна обстановка на полярной окраине континента, однако имеющиеся данные и здесь говорят о стабильном тектоническом режиме, характеризовавшемся длительным равномерным прогибанием, т. е. о ситуации, свойственной тем же перикратонным прогибам. Очевидно, кордильерская и полярная ветви прогиба соединялись в единую структуру. Как видно по кордильерской ветви, среднерифейский перикратонный прогиб был наложен на платформенные структуры раннерифейского этапа, включая зону эльсонской активизации, и занимал по отношению к ним резко дискордантное положение.

На юго-восточной окраине континента в среднем рифее получили дальнейшее развитие процессы тектоно-магматической активизации. По сравнению с ранним рифеем фронт их проявления сместился к юго-востоку. Судя по распространению кристаллических пород с изотопным возрастом 1,15—0,95 млрд.

лет, область среднерифейской активизации, именуемая в американской литературе Гренвиллским поясом, включала территории собственно провинции Гренвилл, Аппалачей, Уошито и примыкающих к ним шельфовых пространств, протягиваясь на юго-запад в Мексику и Центральную Америку (рис. 16).

По типу тектонического режима рассматриваемую зону можно сравнить с территорией Станового хребта в мезозое, где так же широко проявились процессы тектоно-магматической активизации, выразившиеся в формировании крупных гранитоидных плутонов, в излияниях лав, преимущественно кислых, и в региональном изотопном омоложении кристаллических пород фундамента. Однако масштабы Гренвиллского пояса гораздо больше и поражают своей грандиозностью: при ширине, превышающей 1000 км, он прослеживается на расстояние более 10 тыс. км. Структурные соотношения этого пояса с одно-возрастным Кордильерским перикратонным прогибом неясны, поскольку в пределах континента эти структуры не пересекаются.

На остальной части континента в среднерифейское время сохранился платформенный режим, но в отличие от раннего рифея почти вся платформа находилась в приподнятом состоянии и накопление осадков на ее большей части прекратилось вплоть до кембрия и ордовика. Исключением были сравнительно узкие, но глубокие прогибы типа авлакогенов (Квино, Коппермайн, Эрикс-Фьорд), выполненные основными вулканитами и континентальными осадками.

Позднерифейско-вендская структура. В позднем рифее и венде заложены на предыдущем этапе общий структурный план континента в своей основе сохранился (рис. 1в), однако тектонический режим в обрамляющих платформу поясах получил новое выражение.

Особенно резкие изменения произошли в приатлантической части Гренвиллского пояса, где унаследованность по отношению к предшествовавшей структуре можно усмотреть только в сохранении направления пояса. 0,95—0,9 млрд. лет назад здесь началось формирование вулканогенно-осадочных комплексов Аппалачской геосинклинали. Выходы верхнего докембрия в Аппалачах группируются в две протяженные зоны, одна из которых прослеживается вдоль восточной окраины Северных Аппалачей в Канаде, другая приурочена к осевой зоне Южных Аппалачей в США. В пределах обеих зон верхнедокембрийские осадки имеют в основании кристаллические породы, изотопный возраст которых составляет 1,1—0,95 млрд. лет, и перекрыты нижним кембрием. Это позволяет судить о их принадлежности к верхнему рифею — венду. Состав и формационный облик отложений изменчивы, их возрастные взаимоотношения не всегда ясны, но тем не менее имеющиеся данные позволяют выделить в их составе три разновозрастных комплекса, глав-

нейшие особенности которых прослеживаются на всем протяжении Аппалачей.

Нижний комплекс Южных Аппалачей имеет терригенный состав при преобладании грубообломочных осадков — песчаников и конгломератов. Обломочный материал в основном состоит из продуктов разрушения подстилающих кристаллических пород. Характерна примесь туфогенного материала. Строение разреза меняется от места к месту. Резко колеблется его мощность — от десятков до тысяч метров. Все это указывает на резкую тектоническую расчлененность региона, в пределах которого глубокие прогибы чередовались с быстро разрушавшимися поднятиями. В Северных Аппалачах фациальная обстановка была еще более изменчивой, и терригенные, большей частью грубообломочные, отложения здесь чередуются с карбонатными и вулканогенными, а в направлении к северо-востоку вытесняются субаэральными эффузивами кислого и среднего состава. От вышележащих отложений нижний комплекс почти везде отделен значительным эрозионным перерывом, причем в Северных Аппалачах местами зафиксированы слабые проявления складчатости, сопровождавшиеся внедрением гранитов.

Средний комплекс сложен вулканогенными и терригенными образованиями, сложно чередующимися между собой по латерали и вертикали. На самом юге Аппалачей в составе комплекса резко преобладают кластические породы — сероцветные грубослоистые песчаники, конгломераты, алевролиты и аргиллиты. К северу они постепенно замещаются кислыми и основными вулканитами, а затем оливинсодержащими базальтами. В Северных Аппалачах вулканогенные и терригенные породы чередуются в разрезе, причем низы комплекса представлены морскими сероцветными сланцами, граувакками и кремнистыми породами, отложившимися в сравнительно глубоководных условиях, а верхи — в значительной мере красноцветными грубообломочными осадками мелководного и, возможно, континентального происхождения. Вулканиты тяготеют к средней и в меньшей мере к верхней частям комплекса; среди них преобладают базальты, но широко развиты и кислые эффузивы и туфы. Мощность комплекса очень велика и местами, особенно в Северных Аппалачах, намного превышает 10 тыс. м. Между средним и верхним комплексами большей частью фиксируется эрозионный перерыв и местами небольшое угловое несогласие.

Отложения верхнего комплекса характеризуют собой более стабильные тектонические условия, на что указывают их формационные особенности и единообразие состава на обширных территориях. В Южных Аппалачах они представлены мелководными кварцитами и песчано-сланцевыми, частично глауконитсодержащими образованиями, местами чередующимися с вулканитами, диамиктитами, конгломератами и карбонатными

породами. Мощность отложений в разных районах колеблется от 1 до 7 тыс. м. В Северных Аппалачах к верхнему комплексу относятся маломощные (до 100 м) толщи чистых белых кварцитов с прослоями красноцветных сланцев. В обоих регионах отложения верхнего комплекса постепенно или с небольшим перерывом сменяются вверх по разрезу слоями с фауной нижнего кембрия.

Из приведенного обзора видно, что верхнедокембрийские комплексы, слагающие низы аппалачского разреза, обладают специфическим формационным обликом, отличающим их от раннегеосинклинальных формаций большинства подвижных областей. Эта специфика заключается в широком развитии континентальных и мелководных фаций, представленных красноцветными часто грубообломочными осадками и субаэральными эффузивами, в значительном развитии кислых эффузивов и, наконец, в присутствии таких «типично платформенных» отложений, как кварцевые песчаники и глауконитсодержащие породы. Можно предполагать, что формирование подобных комплексов, свойственных, вообще говоря, скорее орогенным, чем раннегеосинклинальным, режимам, в данном случае характеризует особую стадию геосинклинального развития, предшествовавшую накоплению собственно геосинклинальных формаций — стадию разрушения консолидированной структуры древнего кратона.

Развитие западных окраин Северной Америки в позднем рифе — венде носило иной характер. В Канадских Кордильерах и на Аляске самые верхи докембрия представлены мощной (до 8—9 тыс. м) терригенной толщей, формационный облик которой определяется преобладанием терригенных пород — грубозернистых песчаников, конгломератов, тиллитов. Роль вулканических пород незначительна, известняки в заметном количестве появляются только в западных, удаленных от края прогиба, разрезах. Состав отложений и их мощность заметно меняются как по простиранию прогиба, так и в поперечном направлении. В основании разреза фиксируются весьма значительный эрозийный перерыв и местами несогласие, наиболее отчетливо выраженное у южной границы Канады, где с ним связывают проявления гранитов возрастом 0,8—0,7 млрд. лет. В Центральных Кордильерах, в пределах США и на северо-западе Мексики (пустыня Сонора), верхи рифея и венд отличаются более пестрым составом разреза, в котором наряду с грубообломочными породами заметную роль приобретают сланцы и известняки. Резко выражена поперечная зональность, проявленная в быстром уменьшении мощности вплоть до полного выклинивания и в возрастании роли грубообломочных фаций в направлении к восточному борту прогиба. Подстилающие толщи среднего рифея отделены угловым несогласием.

Таким образом, смена тектонического режима на севере и в

центральной части Кордильер произошла по сравнению с Аппалачами с некоторым запозданием и не имела столь кардинального характера. Ее первые проявления выразились в значительном воздымании, которое сопровождалось глубоким размывом среднерифейских отложений, небольшими дислокациями и местами внедрением гранитоидов; возраст этих событий определяется в 0,8—0,7 млрд. лет. Однако наметившаяся на среднерифейском этапе тенденция к интенсивному прогибанию сохранилась, и в конце докембрия возобновилось накопление мощных терригенных и карбонатно-терригенных отложений. В отличие от среднерифейского, оно протекало в обстановке значительной тектонической дифференцированности и большей контрастности движений, о чем свидетельствует фациальная неустойчивость разреза и обилие грубообломочных пород; подобная активизация тектонического режима может рассматриваться как признак нарастания геосинклинальных тенденций.

Аналогичная ситуация была, вероятно, и вдоль северной окраины материка, на северо-востоке и севере Гренландии, где самые верхние части докембрия представлены, как и в Канадских Кордильерах, грубообломочными отложениями. Следовательно, не исключено, что превращение перикратонного прогиба в геосинклинальный произошло на всем протяжении прогиба примерно в одно время.

Важным показателем установления геосинклинального режима является заложение зоны эвгеосинклинального развития, которая в прибрежных частях Кордильер оформилась, по-видимому, к концу докембрия. Здесь верхний докембрий выделяется с большим трудом и изучен недостаточно, но все же имеющиеся данные показывают, что состав отложений в направлении к Тихоокеанскому побережью существенно изменяется — увеличивается доля вулканогенных образований. Это, в частности, наблюдается в предположительно докембрийских разрезах гор Клатмат и на севере Каскадных гор. Более надежно определен возраст метавулканических пород архипелага Александра, где их принадлежность к докембрию подтверждена радиохронологически (М. Чуркин, устное сообщение), а также п-ова Сьюард. Эти два района Аляски ясно свидетельствуют о том, что на западе Кордильер в позднем докембрии существовала область эвгеосинклинального типа.

В Южных Кордильерах (южнее Соноры) верхнерифейские породы распознаны только в единичных случаях. Это досилурийские мусковит-хлоритовые и тальковые сланцы, филлиты и кварциты района Сьюадад-Виктории (север Восточной Сьерра-Мадре), возраст метаморфизма которых составляет 0,74 млрд. лет. По степени метаморфизма и по наличию структурного несогласия их отделяют от более древних пород кристаллического фундамента с изотопным возрастом 1,35—0,9 млрд. лет; последние местами метаморфизованы в гранулитовой фации.

Таким образом, несмотря на неполноту данных, можно заключить, что развитые в Южных Кордильерах комплексы относятся к трем структурным этажам: омоложенному в гренвиллское время кристаллическому фундаменту платформы; покрову кислых вулканитов эпохи гренвилльского омоложения (упоминавшиеся метавулканиты района Мехико); сформировавшемуся на платформенном основании верхнерифейскому геосинклинальному комплексу (сланцы Восточной Сьерра-Мадре). Такое строение докембрийского разреза нехарактерно для более северных сегментов Кордильер, но присуще Аппалачской складчатой системе, заложившейся на разрушенном гренвиллском основании. Это дает основания предполагать, что территория Южных Кордильер в позднем докембрии представляла собой структурное продолжение древних Аппалачей.

Центральная часть материка в позднем рифее — венде представляла собой щит. Осадконакопление в его пределах было, по-видимому, очень локальным: платформенные отложения этого возраста образуют лишь мелкие выходы.

Карелий и рифей Восточной Азии

Данные по Восточной Азии обсуждаются на основе сводок Л. И. Салопа (1973), С. М. Тильмана (1973), М. А. Семихатова (1974) и А. М. Смирнова (1976) с использованием некоторых новейших работ (Шаповалова, 1974; Работнов, 1977; Стецюк, 1977; Шульдинер и др., 1977; Шульдинер, Стецюк, 1977; и др.).

Карельская структура. На севере Восточной Азии, в пределах Сибирской платформы и ее восточного обрамления, карельские комплексы распространены весьма ограниченно. К ним относятся лишь некоторые вулканогенно-терригенные серии Учуро-Майского района (улканская и уянская), преобладающими породами которых являются кислые и субщелочные эффузивы и красноцветные обломочные образования. Этот орогенный комплекс часто рассматривают как древнейшую часть чехла Сибирской платформы. Возможно, что карельский возраст имеют и некоторые толщи на крайнем севере континента.

Гораздо шире карельские образования распространены в Центральноазиатском поясе, где они представлены геосинклинальными терригенно-вулканогенными и терригенно-карбонатными образованиями. Граница распространения геосинклинальных комплексов карелия совпадает с северной границей Центральноазиатского пояса, следовательно, можно полагать, что Сибирская протоплатформа как целостное тектоническое сооружение (включавшее, вероятно, и территорию будущей Верхояно-Чукотской области) оформилась уже в карелии и представляла собой аналог североамериканских протоплатформ Сьюпириор и Слейв.

Этого нельзя сказать о Китайской платформе, в пределах которой карельские образования распространены очень широко. Как и в Центральноазиатском поясе, среди них выделяются эвгеосинклинальные, преимущественно зеленосланцевые образования, и миогеосинклинальные, главным образом терригенно-карбонатные; преобладают миогеосинклинальные комплексы. Платформенные отложения карельского возраста на территории Китайской платформы неизвестны. Хотя дорифейские образования этого региона мало изучены, все же можно предполагать, что крупных стабильных структур платформенного типа здесь в карелии не было.

Таким образом, в карельский геосинклинальный процесс в Восточной Азии, как и в Северной Америке, была вовлечена большая часть площади, и только на севере выделялась крупная Сибирская протоплатформа, впоследствии послужившая остовом рифейской платформы.

Раннерифейская структура. На востоке Азии нижний рифей развит очень ограниченно. Достоверно идентифицированные отложения этого возраста известны лишь, по-видимому, в двух районах — на северной (Анабарское и Оленекское поднятия) и восточной (Юдомо-Майское и Сетте-Дабанское поднятия) окраинах Сибирской платформы. Это преимущественно платформенные маломощные (сотни метров) и слабо дислоцированные толщи терригенных осадков, которые вверх по разрезу в той или иной мере замещаются карбонатными. Имеются сведения о присутствии нижнего рифея и в других районах, но они спорны, и можно уверенно говорить о незначительном распространении отложений этого возраста на Сибирской платформе. Отсутствуют они и в составе платформенного чехла на Китайской платформе и в разделяющих платформы Байкальской и Монголо-Охотской областях, которые, судя по всему, в раннем рифее были пенепленезированы и находились в платформенном состоянии.

Таким образом, в раннем рифее вся восточная часть Азии, как и Северо-Американский материк, представляла собой слабо расчлененную в тектоническом отношении область платформенного типа.

Средне-позднерифейская структура. Средний и поздний рифей на Сибирской и Китайской платформах — время обширной трансгрессии и формирования широкого плаща отложений чехла, покрывшего большую часть территории этих платформ (рис. 2). В это же время происходило формирование глубоких прогибов в краевых частях платформ.

Средне-верхнерифейский чехол Сибирской платформы сложен терригенно-карбонатными отложениями сравнительно небольшой мощности (обычно не более 1000 м), в составе которых важная роль принадлежит хемогенным и органогенным доломитам и известнякам, а среди терригенных пород — гли-

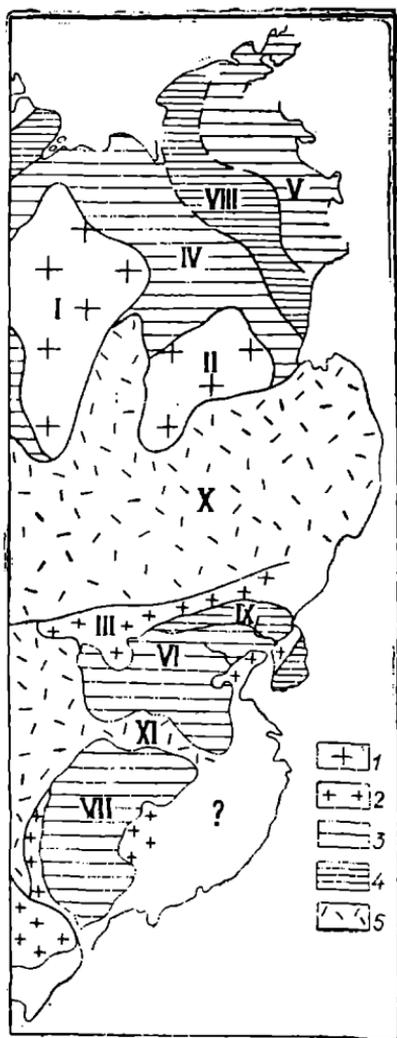


Рис. 2. Среднерифейская структура Восточной Азии. Использованы: тектоническая карта Евразии (1966), схемы Хуан Бо-цзя (1952), Ван Хун-чжэня (1962), М. А. Семихатова (1974), А. М. Смирнова (1976) и др. Восточные контуры континента местами изменены с учетом возможных горизонтальных перемещений в послерифейское время.

1 — щиты: Ангаро-Анабарский (I) и Олекмо-Алданский (II); 2 — выступы фундамента на Китайской платформе: кристаллическая ось Внутренней Монголии (III) и др.; 3 — плиты: Восточно-Сибирская (IV), Охотско-Чукотская (V), Спско-Корейская (VI) и Южно-Китайская (VII); 4 — интракратонные прогибы: Протоверхоянский (VIII) и Яньшаньский (IX); 5 — геосинклинальные пояса: Центральноазиатский (X), Циньлинский (XI)

нистым и тонкообломочным образованиям, а также кварцевым песчаникам. Подобное строение имеет и средне-верхнерифейский чехол на Омолонском и Охотском массивах. Но в области, отделяющей эти массивы от Сибирской платформы, мощность среднего — верхнего рифея заметно возрастает — до 4—5 тыс. м, что указывает на бывшее существование в этой области глубокого прогиба, который будем именовать Протоверхоянским.

Осадки Протоверхоянского прогиба очень похожи на отложения чехла прилегающей Сибирской платформы, отмечаемые фациальные отличия (исчезновение красноцветных образований, некоторое возрастание роли грубообломочных пород) несущественны. В формационном отношении Протоверхоянский прогиб сходен с перикратонным прогибом Северо-Американских

Кордильер, хотя структурное положение Протоверхоянского прогиба было иным. Говоря о структурном положении, разумеется, необходимо считаться с возможностью существенных изменений в конфигурации прогиба за последние 600—500 млн. лет. Не исключено, что вследствие рифтообразования в палеозойское и мезозойское время некоторые блоки — Омолонский массив, Чукотка — были смещены к востоку, а их первоначальное расположение было более компактным (рис. 2). Но независимо от того, как мы реконструируем взаиморасположение этих блоков, Протоверхоянский прогиб, трассируемый по выходам в Юдомо-Майском и Приколымском поднятиях, оказывается ограниченным с востока платформенными слабо погруженными блоками: Охотским, Омолону-Тайгоносским и Чукотским. Следовательно, Протоверхоянский прогиб надо рассматривать как структуру интракратонную.

Сходная ситуация (хотя и менее изученная) наблюдается и на Китайской платформе. Большая часть ее территории была перекрыта синийским (средне-верхнерифейским) чехлом платформенных отложений сравнительно небольшой мощности, в составе которых преобладали карбонатные породы. На севере платформы располагался Яньшаньский прогиб, отделявший от плиты Сино-Корейского массива выступ фундамента, называемый кристаллической осью Внутренней Монголии. Яньшаньский прогиб по строению и по составу выполнявших его осадков сходен с Протоверхоянским.

Средне-позднерифейские комплексы Центральноазиатского пояса, разделяющего Сибирскую и Китайскую платформы, резко отличаются от описанных. Даже в приплатформенных, сравнительно мало подвижных зонах, таких, как Присаянье, Западное Прибайкалье, Патомское нагорье, отложения характеризуются значительно большей ролью грубообломочных и плохо сортированных пород, меньшим количеством известняков и резкими изменениями фаций и мощностей как в поперечном, так и в продольном направлениях. Это типичные миогеосинклинальные комплексы, которые на некотором удалении от края платформы быстро сменяются эвгеосинклинальными зеленосланцевыми образованиями.

В Байкальской области распределение средне-позднерифейских эв- и миогеосинклинальных областей полностью повторяет структурный план предшествовавшего этапа карелид. И это — несмотря на большой перерыв, сопровождавшийся интенсивной складчатостью, магматизмом и формированием орогенных серий. Не менее впечатляет унаследованность структурного плана в Восточном Забайкалье. В более южных районах Центральноазиатского пояса эта закономерность проявлена не только отчетливо. Тем не менее можно заключить, что в целом Центральноазиатский пояс в среднем — позднем рифее развивался унаследованно на месте подвижной структуры карельского воз-

раста. Такой тип структурных соотношений карелия и рифея в Тихоокеанском подвижном поясе отсутствует.

Вендско-раннепалеозойская структура. В послерифейское время сформировавшийся в среднем — позднем рифее структурный план континента существенно не изменился. Сибирская и Китайская платформы в общем сохранили свой стабильный режим и свои очертания. Обрамляющие их подвижные прогибы, режим которых претерпел значительную эволюцию, также сохранились в прежних границах.

В пределах Протоверхоянского интракратонного прогиба в венде после небольшого перерыва продолжалось накопление мезотонных, преимущественно карбонатных толщ. Однако начиная с кембрия намечаются признаки нарастания тектонической активности, выразившейся в появлении пестроцветных и грубообломочных формаций и в усилении фашиальной неустойчивости разрезов. Отложения нижнего кембрия напоминают образования орогенных этапов, но здесь они не завершают геосинклинальное развитие, а скорее являются его провозвестником. Кембрий можно считать началом установления геосинклинального режима. Возможно, что именно в это время начался распад до того единого Охото-Чукотского массива, хотя ясные свидетельства этого процесса получены лишь для ордовика, когда накопление мощных толщ трахибазитов и трахитов (Рассошинская зона) зафиксировало проявление рифтогенеза на Северо-Востоке Азии.

В Центральноазиатском поясе, как уже говорилось, в венде и раннем палеозое продолжалось геосинклинальное развитие, хотя по окраинам пояса, в частности в Байкальской области, оно вступило в завершающую фазу. В некоторых из южных прогибов, например в Яньшаньском, в прогибах Кореи, осадконакопление также продолжалось в палеозое, но оно так и не привело к перерастанию этих структур в геосинклинали. Другие прогибы — Циньлинский, Северо-Вьетнамский — развивались, видимо, по типу прогибов Центральноазиатского пояса.

Карелий и рифей Австралии

Докембрий Австралии подробно охарактеризован в сводках Д. Брауна и др. (1970), Т. А. Денисовой (1973), М. А. Семихатова (1974) и Ч. Б. Борукаева (1976а), откуда в основном заимствованы приведенные ниже данные.

Карельская структура Австралии довольно проста: ее северная часть представляет собой складчатую область карелид, южная — протоплатформу (рис. 3). Их граница проходит в северо-западном, близком к широтному, направлении и почти под прямым углом пересечена краем Тихоокеанского пояса. В пределах Северо-Австралийской области карелид Ч. Б. Борукаев (Башарин и др., 1976) выделяет ряд срединных массивов,

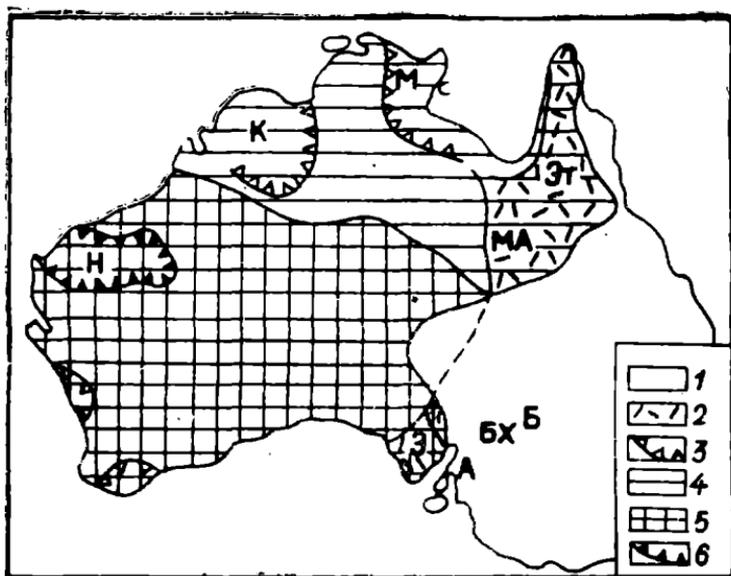


Рис. 3. Докембрийская структура Австралии (по схемам Ч. Б. Борукаева (1976 а), М. А. Семухатова (1974), Д. Брауна и др. (1970), и др.)

1 — Восточно-Австралийское звено Тихоокеанского пояса, главные элементы рифейской структуры: складчатая область Аделаида (А), складчатая ветвь Банканция (Б), массив Брокен-Хилл (БХ); Австралийская платформа; 2 — зоны раннерифейской активизации: складчатые зоны Маунт-Айза (МА) и Этеридж (Эт) и вулканическая зона п-ова Эйр (Э); 3 — раннерифейские синеклизы Кимберли (К), Мак-Артур (М) и др.; 4 — Северо-Австралийская складчатая зона карелид; 5 — Южно-Австралийская карельская протоплатформа; 6 — карельский внутриплатформенный прогиб Наллагайн (Н)

которые, впрочем, не меняют общей картины карельской структуры континента. Южно-Австралийская протоплатформа осложнена наличием глубокого карельского прогиба Наллагайн, толщи которого подверглись складчатости лишь вдоль южной окраины прогиба.

Раннерифейская структура. К нижнему рифею Австралии следует относить толщи, обозначаемые местными геологами как верхи карпентария. Однако далеко не везде карпентарий можно расчлентить достаточно уверенно, что вызывает неоднозначность палеотектонических построений. Очевидно, что из состава нижнего рифея должны быть исключены орогенные, преимущественно кислые, вулканические образования древнее 1,7—1,75 млрд. лет. Кроме того, по-видимому, к дорифею должны быть отнесены также некоторые нижнекарпентарские пестроцветные обломочные отложения, которые, как показывает опыт изучения Байкальской области, могут замещать по латерали толщи орогенных вулканитов. Приняв во внимание эти соображения, следует считать, что на большей части Австралийской платформы нижний рифей представлен сравнительно

маломощными типично платформенными отложениями, обнажающимися в виде небольших разобщенных участков на северной и северо-западной окраинах материка: на плато Кимберли, на западе залива Карпентария и на юго-западном побережье Австралии (рис. 3). В целом платформенный нижний рифей Австралии по строению разрезов и распространенности отложений обнаруживает сходство с разновозрастными образованиями чехла Сибирской платформы.

Однако на востоке Австралийской платформы ситуация резко отлична: здесь нижний рифей участвует в строении активных тектонических зон. Их яркий и хорошо изученный представитель — складчатая зона Маунт-Айза, протягивающаяся от залива Карпентария на юг на расстояние около 400 км. Зона сложена очень пестрым в литологическом отношении комплексом — конгломератами, песчаниками, кварцитами, алевролитами, пелитовыми породами, основными и кислыми эффузивами, туфами и брекчиями, доломитами, которые в формационном отношении, пожалуй, ближе всего к орогенным образованиям. Отложения крайне неустойчивы фациально, с резко меняющимися мощностями, с многочисленными перерывами и несогласиями; они интенсивно дислоцированы, местами метаморфизованы и прорваны гранитными интрузиями, возраст которых составляет 1,5—1,55 млрд. лет. Таков же характер и раннерифейских (?) образований складчатой зоны Этеридж. У юго-восточной окраины платформы, на п-ове Эйр, известны грубо-обломочные отложения (кварциты, конгломераты), ассоциирующиеся с кислыми эффузивами и прорванные многочисленными интрузиями гранитов. По крайней мере некоторые из них относятся к нижнему рифею. Можно думать, что все три подвижные зоны раннего рифея — Этеридж, Маунт-Айза и Эйр — соединялись в единую область тектоно-магматической активизации, протягивавшуюся в близмеридиональном направлении через весь континент. По своему характеру она во многом напоминает область раннерифейской эльсонской активизации в Северной Америке.

В пределах Восточно-Австралийского сегмента Тихоокеанского пояса выходы раннерифейских образований известны только в пределах массива Брокен-Хилл, где распространены граниты с возрастом около 1,5 млрд. лет. Это дает основания полагать, что зона раннерифейской активизации Этеридж — Эйр распространялась на восток и служила фундаментом по крайней мере западных окраин Тихоокеанского пояса.

Средне-позднерифейская структура. В среднем и позднем рифее на Австралийской платформе продолжалось накопление отложений платформенного чехла, площадь которого заметно расширилась по сравнению с ранним рифеем. На востоке материка сформировалась геосинклинальная область Аделаида, что знаменовало заложение Восточно-Австралийского звена

Тихоокеанского пояса. Размеры позднедокембрийской подвижной области неясны, поскольку на большей части Восточной Австралии докембрий скрыт под палеозойскими и мезозойскими отложениями. Во всяком случае можно считать, что она простиралась до долготы о-ва Тасмания, на котором присутствие верхнего докембрия установлено достаточно определенно. Если принять во внимание предполагаемое присутствие верхнего докембрия на восточном побережье, то можно прийти к выводу о вероятности его распространения на всей площади Восточной Австралии.

Складчатая область Аделаида представляет собой зону байкалитид, завершившую свое развитие и отчленившуюся от остальной части Восточной Австралии в самом конце докембрия. В составе области выделяются собственно Аделаидскую ветвь и отделенную от нее срединным массивом Брокен-Хилл складчатую ветвь Банканния; обе ветви вытянуты в меридиональном направлении и на севере погружаются под мезозойские осадки Большого Бассейна. Состав верхнедокембрийских отложений этого региона своеобразен. Они разделены на четыре серии, каждая из которых отличается весьма непостоянной мощностью, достигающей в максимуме 5—7 тыс. м. Нижняя серия представлена терригенно-вулканогенной толщей, состоящей из кварцитов, красноцветных песчаников, базальтов и андезитов с подчиненными сланцами, доломитами и другими породами. Характерно присутствие слоев с линзами каменной соли. Выше лежащая толща состоит из красно- и пестроцветных песчаников, гравелитов и доломитов, частично магнетитоносных, местами с прослоями аргиллитов. Еще выше залегают терригенные породы, среди которых преобладают грубокластические (конгломераты и тиллиты) и тонкозернистые (алевролиты и аргиллиты) разности. Тиллиты образуют огромную по мощности — более 3000 м — толщу в основании серии, а также менее мощную пачку в ее кровле. Разрез венчают тонкообломочные породы, относимые уже к венду — преимущественно красно- и пестроцветные алевролиты и аргиллиты с подчиненными песчаниками и доломитами. В зоне Банканния разрез кажется более монотонным за счет отсутствия карбонатных пород, зато здесь широко развиты прослои вулканитов, частично кислых.

Общая характеристика геосинклинальных отложений области Аделаида почти дословно повторяет характеристику верхнедокембрийского аппалачского разреза: их специфика заключается в широком развитии континентальных и мелководных фаций, представленных красноватными, часто грубообломочными осадками, в присутствии кислых вулканитов и в наличии фаций платформенного типа, содержащих галогены. Сходство усугубляется тем, что в обоих случаях формированию геосинклинальных отложений предшествовали процессы тектоно-магматической активизации кристаллического фундамента.

Описанные раннерифейские события на фоне общего развития континентов выступают как важнейший рубеж их эволюции, «великий перелом», по определению Г. Штилле. Г. Штилле (1964), как известно, предложил двучленное деление тектонической истории Земли, выделив в качестве тектоно-хронологических подразделений наиболее высокого ранга два мегацикла (мегахрона, по Н. С. Шатскому) — протогей и неогей.

Более ранний тектонический мегацикл — протогей — завершился в прерифейское время карельским диастрофизмом и наступившей затем кратонизацией огромных пространств, распространением платформенного режима практически на всю площадь современных материков. Последующее образование геосинклинальных прогибов и оккупация ими значительной части платформенной территории знаменовали заложение новых подвижных поясов. Это событие, квалифицированное Г. Штилле (1968, с. 6) как «кардинальная регенерация ранее консолидированных пространств» и названное им альгонкской революцией, положило начало новому мегациклу — неогей. Отсутствие столь крупных переломов в дальнейшей тектонической истории Земли свидетельствует о внутреннем единстве неогей. К настоящему времени получены новые доказательства такого единства. Созданный в начале неогей новый структурный план расчленения материков на платформы и подвижные пояса оказался весьма консервативным и сохранился в течение всего неогей (Муратов, 1967). При этом элементарные циклы геосинклинального развития в неогене не представляли собой простого повторения событий, но выстроились в единую линию эволюционного развития, общая тенденция которого соответствует тенденциям развития внутри каждого цикла (Хаин, 1973).

Нужно сказать, однако, что хотя раннерифейские платформы и претерпели вследствие альгонкской революции значительное сокращение, они все же сохранили свой статус стабильных структур до настоящего времени. Кардинальными были не регенерация, не разрушение стабильных масс, а смена тектонического режима и изменение структурного плана. Именно они составляют сущность альгонкской революции. Приведенный материал помогает раскрыть характер этих явлений. С этой целью проследим эволюцию двух типов тектонического режима — орогенного и геосинклинального — и развитие их соотношений с платформенным режимом в течение переломного периода.

В Северной Америке, как и на других материках, к началу рифея (1,7 млрд. лет назад) активные проявления орогенических движений карельской фазы диастрофизма завершились почти внезапно на всей территории континента, и последовавшая за этими событиями эпоха отличалась максимальной стабилиза-

цией. Но уже в середине раннего рифея (1,5 млрд. лет назад) на юго-востоке Северной Америки началось формирование обширной активной зоны, в пределах которой проявились энергичные воздымания, кислый магматизм и метаморфизм. Развитие этих процессов усилилось и к концу среднего рифея достигло апогея. Зона эльсонско-грэнвиллской активизации представляет собой один из древнейших эпиплатформенных орогенных (дейтероорогенных) поясов. По типу тектонического режима этот пояс в общем не имеет существенных отличий от протоорогенных структур (в частности, от проявлений карельского орогенеза) и выделяется главным образом отсутствием геосинклинальной подготовки. Формирование Грэнвиллского орогенного пояса не завершило геосинклинальный цикл, а служило предтечей заложению Аппалачской геосинклинали. Развитие свода привело, вероятно, к образованию крупной рифтогенной структуры, эволюционировавшей в геосинклиналь.

Вместе с тем заложение подвижных поясов могло осуществиться и другим путем. На Кордильерско-Арктической окраине материка оформлению геосинклинали предшествовало длительное весьма значительное прогибание, обусловившее последовательное преобразование шельфа (плиты) в перикратонный прогиб, а последнего — в геосинклинальный. В обоих случаях, однако, заложение геосинклинальных прогибов предвлялось длительной тектонической подготовкой, в результате которой присущий неогей структурный план окончательно оформился уже в среднем рифее.

Рифейская структура восточной части Азии во многом сходна с североамериканской. Там и здесь существовали огромные кратонизированные пространства, представлявшие собой в начале рифея приподнятые над поверхностью океана щиты. На обоих континентах эти пространства, начиная со среднего рифея, стали расчленяться с образованием подвижных прогибов. На восточной окраине нынешней Сибирской платформы образовался Протоверхоянский прогиб, близкий по формационному облику к Кордильерскому. Как и последний, Протоверхоянский прогиб может рассматриваться как прегеосинклинальная структура, заложившаяся на платформенном основании и развившаяся впоследствии (уже в раннем палеозое) в типичную геосинклиналь. Существенным отличием от Кордильерского является лишь внутриматериковое положение Протоверхоянского прогиба. Такое же положение имел и Яньшаньский прогиб.

Специфична рифейская структура Центральноазиатского пояса. Здесь геосинклинальная обстановка возникла уже в среднем рифее, минуя стадию образования каких-либо прегеосинклинальных структур. Это связано с унаследованным характером Центральноазиатского пояса: несмотря на раннерифейский перерыв, в течение которого этот регион находился в

состоянии, вероятно близком к платформенному, последующее позднедокембрийское и палеозойское развитие региона оказалось полностью, местами вплоть до деталей, подчиненным структурному плану, заложенному в карелии.

В Австралии, как было показано, заложение геосинклинали также произошло в позднем рифее по схеме, аналогичной развитию Аппалачей.

Итак, в разных зонах тихоокеанского окружения собственно геосинклинальный режим начался в разное время: в среднем рифее (без «прегеосинклинальной подготовки», по унаследованию на карелидах) в Центральноазиатском поясе, в позднем рифее на востоке Северной Америки и Австралии, в венде в Кордильерах, в раннем палеозое в Северо-Восточной Азии. Некоторые зоны имеют еще более молодой возраст. Но если говорить о заложении нового структурного плана в целом, то его следует отнести к началу среднего рифея (1,4 млрд. лет назад), когда на раннерифейском платформенном основании появились предвестники будущих геосинклиналей — прегеосинклинальные прогибы и поднятия. Именно этот момент, казалось бы, должен быть принят за начало последнего мегацикла. Такой позиции, в согласии с духом концепции Г. Штилле, придерживается В. Е. Хаин (1973), который проводит нижнюю границу неогая (и рифея) по хрононе 1,4 млрд. лет, полагая рубеж 1,7 млрд. лет менее важным.

Рубеж 1,7 млрд. лет не считает первостепенным и Л. И. Сапог (1973), который трактует его как одну из границ внутри неопротозоя — выделенного им подразделения докембрия в рамках 2,0—1,0 млрд. лет. Это мнение также имеет веские основания. Неопротозой характеризуется внутренним единством, отличаясь от смежных докембрийских эпох подавленностью геосинклинальных режимов при ведущей роли платформенных и орогенных. Поэтому, как будет показано ниже, с позиций формационного подхода неопротозой можно рассматривать как позднюю стадию протогая. При этом начало неогая отодвигается на поздний рифей — 1,0 млрд. лет назад.

Однако такое решение было бы односторонним, так как оно не учитывает, что одновременно с угасанием геосинклинального тектогенеза, начиная со второй половины неопротозоя (1,5—1,4 млрд. лет назад), происходило зарождение и в дальнейшем нарастание тектонических движений, знаменовавших собой начало нового мегацикла. Еще Г. Штилле (1964) указывал на постепенный, «вековой» характер течения альгонкской революции на границе протоя и неогая. Как видно из приведенного материала, это действительно был весьма длительный, многостадийный процесс, в котором качества нового мегацикла нарастали постепенно, в течение многих сотен миллионов лет. Средний, а отчасти и ранний рифей совмещали в себе признаки завершающей стадии протогая и начальной стадии неогая, т. е.

являлись переходной эпохой постепенного перерастания одного режима тектонического развития в другой.

Все это затрудняет выбор границы между названными мегациклами и делает любое решение условным. Вероятно, следует принять во внимание, что в геотектонике, согласно традиции, завершение цикла датируется временем диастрофизма, приведшего к замыканию геосинклинали, а не временем заложения геосинклиналей последующего цикла. Это правило не вытекает из существа дела, а определяется скорее реальными возможностями, ибо датировать начало геосинклинального процесса значительно труднее, чем конец. К тому же завершающие диастрофизмы в разных регионах, как правило, сближены во времени, тогда как заложение геосинклиналей происходит чаще всего одновременно. Применяя эту традицию к решению затронутого вопроса, границу рассматриваемых мегациклов следует определить по завершающим фазам карельской складчатости, примерно 1,7 млрд. лет назад. Соответственно с этим моментом геологической истории следует совместить и нижнюю границу рифея.

Такое решение, видимо, совпадает с точкой зрения большинства докембристов. Добавим к сказанному, что карельская эпоха диастрофизма проявлена необычайно выразительно, ее отличают грандиозные масштабы и, кроме того, широкое развитие специфических магматических и метаморфических формаций: кислых наземных вулканитов, малоглубинных гранитов типа рапакви и, видимо, некоторых апортозитов и связанных с ними гранулитов. Все это придает карельской эпохе значение особенного рубежа в истории Земли (Кратц, Чернов, 1970; и др.).

Оптарий и карелий. Значение границы между ними и соотношение с неогесем

В период между 3,5 и 2,6 млрд. лет назад сформировались специфические структуры древних щитов — так называемые зеленокаменные пояса. Они сложены по преимуществу эвгеосинклинальными существенно вулканогенными и флишевыми образованиями серий Киватин и Слейв в Канаде, Калгурли в Австралии, Дхарвар и Аравали в Индии, Свазиленд в Южной Африке, муйской серии в Сибири и т. д. Многогеосинклинальные терригенные и карбонатно-терригенные формации, а также молассы пользуются здесь весьма ограниченным распространением (например, серии Юнноп-Айленд и Тимискаминг в Канаде, Модис в Южной Африке). Наиболее полно образования этого цикла изучены в Канаде, и мы используем для их обозначения старый термин А. Лоусона — оптарий (Штилле, 1964).

Второй из упомянутых циклов, именуемый чаще всего ка-

рельским, имеет возраст 2,6—1,7 млрд. лет. Он представлен в отложениях афебия в Канаде (серии Гурон, Анимики и их аналоги), в образованиях карелид на Балтийском щите, серии Наллагайн и пизов карпентария в Австралии, удоканской серии в Сибири и т. д. В отличие от онтария, в котором ведущая роль принадлежит эвгеосинклинальным комплексам, отложения карельской тектонической эры включают наряду с эвгеосинклинальными также миогеосинклинальные, орогенные и даже платформенные образования, представленные широким спектром терригенных, карбонатно-терригенных и вулканогенных формаций.

Отмеченные особенности этих циклов неоднократно обсуждались (Хапп, 1971; Салоп, 1973; Шульдинер, 1973; Семихатов, 1974; и др.). Чаще всего различия в строении онтария и карелия трактуются как отражение общей эволюции коры. Однако, пожалуй, более правильно видеть в этих различиях результат развития одного из тектонических мегациклов. Надо сказать, что Г. Штисале, отнесший оба рассматриваемых подразделения к протогею, тем не менее высказал некоторые сомнения относительно единства этого мегацикла. Они остаются во многом неразрешенными и по сей день. Главная причина сомнений — неопределенность структурных соотношений между онтарием и карелием. Хотя формирование карелид сопровождалось интенсивной переработкой онтарийских структур, неясно, можно ли здесь говорить о кардинальном изменении структурного плана, ибо структурные рисунки обоих циклов сходны: сеть сравнительно узких подвижных зон, разделенных более или менее стабильными (срединными) массивами (Шульдинер, 1973; Башарин и др.). Более ясную картину взаимоотношений этих циклов дает формационный подход. Как мы видели, формационный облик онтария свидетельствует о развитии ранних, эвгеосинклинальных, стадий этого тектонического цикла, тогда как в карельском цикле большего расцвета достигли поздние, миогеосинклинальные и орогенные, стадии; карельский цикл как бы продолжает онтарийский. Эта закономерность четко прослеживается в большинстве протогейских провинций (рис. 4), хотя в некоторых районах, например в Сибири, она подавлена сквозным распространением раннегеосинклинальных вулканогенных формаций. Следовательно, элементарные циклы протогея связаны, как и в неогее, единой линией развития, что позволяет признать их частями единого мегацикла.

В связи с этим уместно еще раз вернуться к вопросу о верхней границе протогея. Уже говорилось о том, что ее совмещение с эпохой карельского диастрофизма — условное решение и что ранне-среднерифейский этап по существу является продолжением протогея. При таком понимании очевидно, что строение протогея повторяет строение элементарных тектонических циклов; раннегеосинклинальная стадия сменяется

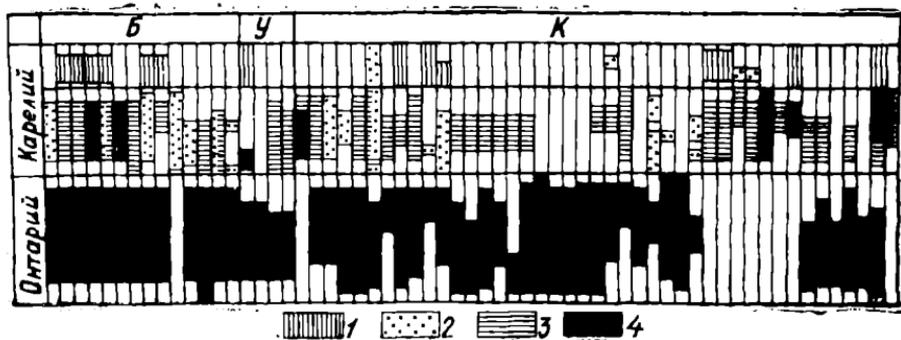


Рис. 4. Распространение главных формационных типов отложений в разрезах онтария и карелия Балтийского (Б), Украинского (У) и Канадского (К) щитов (по Л. П. Салопу, 1973)

Типы формаций: 1— тафрогенные, субарктические, осадочно-вулканогенные; 2— платформенные и протоплатформенные; 3— мюгосинклинальные; 4— эвгеосинклинальные

позднегеосинклинальной, а последняя — эпохой господства орогенных и платформенных режимов. Тектоническая обстановка неопротозоя (по Л. П. Салопу, 1973) в целом отвечает такой эпохе; неравномерность же орогенических процессов, их резкое усиление в начале и в конце неопротозоя есть следствие наложения заключительных орогенных этапов элементарных циклов (карельского и гренвиллского) на общую эволюцию мегацикла.

В свете изложенного мощные процессы дейтероорогенеза получают объяснение как результат усиления орогенных режимов в конце мегациклов: такое усиление проявилось на завершающих стадиях как протогей, так и неогей (Боголепов, 1968; Борукаев, 1976б), оно, по-видимому, свидетельствует о более тесных связях геосинклинального и дейтероорогенного режимов, чем это теперь принимается (Леонов, 1972; Шлезингер, 1975). Отметим попутно значительное сходство глобальной тектонической обстановки первой половины неопротозоя и конца палеозоя — мезокайнозоя. По завершении герцинской складчатости, как известно, резко расширились площади платформ и в то же время чрезвычайно интенсифицировались орогенические (дейтероорогенические) процессы. С другой стороны, гигантские по своим масштабам процессы распада суперконтинентов, новообразования океанических впадин и заложения новых геосинклиналей означают, вероятно, очередную кардинальную смену тектонического режима и изменение структурного плана земной поверхности. Мезозойская эпоха, таким образом, совмещает в себе признаки завершения предшествовавшего мегацикла и начальной стадии нового. Как показал И. В. Архипов (1971, с. 103) на примере Альпийской области, тектоническое развитие «в позднем палеозое — раннем мезозое»

представляется не как охватывавшая обширные территории быстрая смена во времени геосинклинального развития платформенным и вновь геосинклинальным, а как длительное сосуществование в пространстве геосинклинальных и остатков платформенных структур». В глобальном масштабе этот вывод можно распространить на весь мезозой и кайнозой. Аналогия с эпохой альгонкской революции очевидна, и это дает основание рассматривать мезо-кайнозойскую эпоху как стадию перехода к новому тектоническому мегациклу. Этот вывод согласуется с трактовкой послегерцинской стадии развития земной коры как самостоятельного тектонического этапа (Хаин, 1972).

Древнейшие комплексы

Каково тектоническое содержание доонтарийского периода геологической истории и соотношение этого периода с протогеом?

Самые большие цифры изотопного возраста, характеризующие онтарий, получены для серии Онвервайт в Южной Африке — до 3,5 млрд. лет (Jahn, Shih, 1974). С ними согласуются изотопные определения возраста доонтарийских гранито-гнейсовых и гранулитовых комплексов в разных частях мира, показывающие, что формирование фундамента онтарийской группы завершилось 3,5—3,8 млрд. лет назад. Всюду, где этот фундамент идентифицирован геологическими или изотопными методами, его слагают гранитоиды или разнообразные супра-крупные породы, претерпевшие интенсивные деформации, метаморфизм и гранитизацию, т. е. завершившие цикл плутонических преобразований до того, как началось накопление онтарийских эвгеосинклинальных вулканитов. Это указывает на самостоятельность доонтарийского этапа, о которой свидетельствует и его специфичность: многие геологи считают, что он принципиально отличается от последующих этапов рядом неповторимых особенностей (Лазыко, 1971; Салоп, 1973; и др.), в частности отсутствием разделения на геосинклинали и платформы. Следовательно, этот древнейший этап необходимо исключить из состава протогея, выделив в самостоятельный мегахрон — зогей (Гришкян, 1968; Нгуен Динь Кат, 1972; Шульдинер, 1973; Борукаев, 1976в).

Зогейские комплексы повсеместно представлены очень мощными (как правило, намного больше 10 тыс. м) сериями, внутри которых не удается достоверно установить стратиграфические перерывы и несогласия (Салоп, 1973). Поэтому их расчленение на основе тектонических признаков оказывается малоэффективным и возникает потребность в иных подходах.

Один из таких подходов был намечен А. А. Маракушевым (1965), который предположил прямую связь между стратиграфическим положением древнейших образований и глубинно-

стью их метаморфизма. Так возникло представление о разделении эогейских гранулитов Алданского щита и его южного обрамления на два разновозрастных комплекса: алданский, соответствующий алданскому уровню глубинности метаморфизма, и более древний, зверевский (курультино-гонамский), метаморфизованный в стратотипической местности на сугамском уровне глубинности. Недавно Б. Я. Хорева (1978) предложила выделить третий, слюдянский, комплекс, менее метаморфизованный, чем алданский, и, следовательно, более молодой. Дополнительным теоретическим обоснованием рассматриваемого подхода служит представление о метаморфизме эогейских образований в условиях погружения осадков в однородном по латерали тепловом поле (Шульдинер, 1976).

Вместе с тем было показано, что выделяемые на такой основе эогейские комплексы не являются строго монофациальными и что уровень их метаморфизма по латерали не сохраняется постоянным. Изменения мощности и возможное скучивание материала в процессе синметаморфической складчатости приводит к латеральным изменениям глубинности метаморфизма на одном стратиграфическом уровне. Такие изменения невелики и постепенны, но на больших расстояниях они оказываются существенными. Так, метаморфизм зверевского комплекса на востоке Становой складчатой области соответствует самому глубокому чогарскому уровню (35—40 км), в средней части области — сугамскому, на западе — алданскому (менее 30 км) (Карсаков и др., 1975). Значительные колебания глубинности зафиксированы и в алданском комплексе (Кицул, Шкодзинский, 1976). Поэтому уровень глубинности как критерий стратиграфического расчленения приемлем для более или менее ограниченных территорий, но не годится для дальних корреляций.

В связи с этим особое значение приобретает другой подход к установлению последовательности формирования крупных эогейских комплексов — литолого-формационный. Он основывается на поисках единой эволюционной линии формирования древнейших образований. Так, одной из важнейших особенностей, отличающей зверевский комплекс от алданского, считают большую роль основных кристаллических сланцев предположительно метавулканического происхождения (Кудрявцев, 1966); кроме того, для зверевского комплекса характерно незначительное развитие карбонатных пород. Последствием было установлено (Шульдинер, 1973; Смирнов, 1976), что тенденция к уменьшению основных сланцев и увеличению карбонатных пород вверх по разрезу в сибирском эогее универсальна: она проявлена и внутри крупных ритмотолщ, слагающих эогейские комплексы, и внутри комплексов — от одной ритмотолщи к другой, и в целом для эогее — от комплекса к комплексу в ряду зверевский — алданский — слюдянский.

Такое единство в эволюции литолого-формационных особенностей эогея создает уверенность в правильности принятой схемы его расчленения, тем более что она согласуется с метаморфическим критерием.

Специальное исследование (Шульдинер и др., 1979) показало, что в зверевском комплексе метавулканическое происхождение имеют не только основные сланцы, но и гнейсы, которые обычно трактовались как метаосадочные породы. Вероятно, зверевские гнейсы сформировались при метаморфизме граувакково-вулканогенных серий, к числу же не связанных непосредственно с вулканизмом метаосадков в зверевском комплексе относятся лишь наиболее глиноземистые сланцы и кварциты, суммарный объем которых в составе комплекса невелик.

Тот факт, что даже кислые породы зверевского комплекса имеют в основном вулканическое происхождение, подтверждает вывод о подавленности процессов осадочного литогенеза на самых ранних стадиях формирования земной коры (Страхов, 1963; Ронов, 1964; Шульдинер, 1973, 1976). С другой стороны, он подчеркивает контраст между зверевским и более молодым алданским комплексом и тем самым указывает на их самостоятельность. В составе алданского комплекса кислые породы — гнейсы — играют большую роль, а среди них ведущее положение переходит к первично терригенным пеллитовым и псаммитовым породам.

Самыми характерными особенностями слюдянского комплекса являются, с одной стороны, несколько пониженный уровень метаморфизма, соответствующий в общем переходной области между гранулитовой и амфиболитовой фациями и в типичном случае ханкайскому уровню глубинности, и с другой — весьма широкое развитие карбонатных отложений (Копцов и др., 1975). Наряду с карбонатными породами широко распространены глиноземистые метапеллитовые гнейсы и сланцы, а также кристаллические сланцы среднего и основного состава. Последние, однако, в большинстве имеют иное происхождение, чем в алданском и зверевском комплексах: большей частью они представляют собой метаморфические аналоги известковистых глин и песчаников, группирующиеся в единый ряд от чистых пеллитов до существенно известковистых пород. Метаэффузивы в слюдянском комплексе играют подчиненную роль. Вероятные аналоги слюдянского комплекса широко распространены в Восточной Азии. К ним относятся иманский комплекс на Ханкайском массиве (Мишкин, 1969), мапчжурский комплекс на Кэнтэйском, Фэншуйлинском и Кимческом массивах (Смирнов, 1976), эскимосский комплекс Восточной Чукотки (Шульдинер, Недомолкин, 1976).

В целом на основании данных о древнейших комплексах Восточной Азии можно наметить две главнейшие тенденции в

эволюции эогея. Первая заключается в постепенном сокращении роли вулканогенного литогенеза и нарастании осадочного. Вторая — в постепенном увеличении карбонатного осадконакопления относительно терригенного. Обе тенденции согласуются с высказанными ранее (Шульдинер, 1976) представлениями об эволюции экзогенных факторов седиментогенеза. Высокая температура поверхности Земли на самых ранних стадиях формирования супракристалльной оболочки препятствовала существованию гидросферы, чем объясняется подавленность процессов осадконакопления и резко подчиненная роль метаосадков в составе зверевского комплекса, особенно в его низах. Зверевское время было периодом накопления мощных вулканогенных серий основного, среднего и кислого состава. Во второй его половине началось более или менее интенсивное разрушение и переотложение в связи с возникновением и расширением водных бассейнов. На первых порах объем гидросферы увеличивался настолько быстро, что это препятствовало насыщению воды легкорастворимыми компонентами, такими, как карбонаты, и, следовательно, отложению карбонатных и глинисто-карбонатных осадков — этим можно объяснить их почти полное отсутствие в зверевском комплексе и сравнительно слабое развитие в алданском. Позднее рост гидросферы должен был замедлиться и ее температура сильно упасть, что, вероятно, и привело к массовому выпадению карбонатов и формированию мощных карбонатных и известковисто-глинистых толщ в слюдянское время.

Можно думать, что подобная эволюция экзогенных факторов литогенеза носила глобальный характер, следовательно, обусловленные ею изменения в составе разрезом могут служить для межрегиональных корреляций древнейших комплексов

З а к л ю ч е н и е

Изложенный материал позволяет вернуться к тезису, постулированному в начале статьи, — периодизацию раннедокембрийской истории необходимо основывать на сочетании двух различных подходов. Главные подразделения раннего докембрия и их границы должны определяться на основе изучения цикличности тектонических процессов; иерархия же этих подразделений, их внутреннее содержание и дальнейшее расчленение исследуются на основе стадийности геологических процессов, выделения отличающихся друг от друга и последовательно сменяющихся друг друга во времени стадий. Такой двойственный подход отражает реальные соотношения цикличности (повторяемости) и направленности в геологии, т. е. разные стороны развития по спирали (Ханн, 1973; Логвиненко и др. 1976; и др.).

Перспективность подобного подхода в стратиграфических

построениях для докембрия была продемонстрирована Л. И. Са-лопом (доклад на Всесоюзном совещании по стратиграфии докембрия в Уфе, 1977 г.). Проведенный здесь историко-геологический анализ развития раннедокембрийских структур в обрамлении Тихого океана еще раз иллюстрирует возможности метода.

Основываясь на этом анализе, можно сделать вывод о существовании в дорифее двух тектонических мегациклов, в соответствии с чем в дорифейской истории Земли необходимо выделить два крупнейших тектоно-хронологических подразделения — мегахрона.

Ранний мегацикл — эогейский — завершился более 3,5 млрд. лет назад. Он, судя по строению разрезов, распадается на циклы более высокого порядка. Эти циклы, очевидно, невозможно датировать радиометрическими методами, так что их последовательность устанавливается на анализе направленных изменений геологических факторов. Этот вопрос требует дальнейшей разработки, пути к его решению еще только намечаются.

Второй мегацикл — протогейский — фактически распадается на три элементарных тектонических цикла, самый поздний из которых — гренвиллский перекрывается во времени с началом следующего мегацикла и поэтому относится уже к третьему мегахрону — неогейу. Протогей же рассматривается в объеме двух тектонических эр, соответствующих тектоническим циклам: онтария (3,5—2,6 млрд. лет) и карелия (2,6—1,7 млрд. лет). Более дробное членение определяется выделением стадий внутри этих геосинклинальных циклов.

ЛИТЕРАТУРА

- Архипов И. В. Строение и развитие северной зоны Альпийской складчатой области в раннем мезозое. — Геотектоника, 1972, № 6, с. 97—105.
- Башарин А. К., Борукаев Ч. Б., Матвеевская А. Л., Чиков Б. М. Жесткие массивы в складчатых системах докембрия континентов. — В кн.: Тектоника срединных массивов. М., 1976, с. 29—36.
- Башарин А. К., Шульдинер В. И. Докембрий Северной Америки. Верхнедокембрийский структурный этаж. — В кн.: Докембрий континентов. Северная и Южная Америка. Новосибирск, 1976, с. 95—133.
- Богданов Н. А. Палеозойские геосинклинали обрамления Тихого океана. — Тр. Геол. ин-та АН СССР, 1975, вып. 269, 260 с.
- Боголепов К. В. О двух типах орогенеза. — Геол. и геофиз., 1968, № 8, с. 15—26.
- Борукаев Ч. Б. Докембрий Австралии и Новой Зеландии. — Тр. Ин-та геол. и геофиз. СО АН СССР, 1976а, вып. 251, с. 5—107.
- Борукаев Ч. Б. Диасхизис и орогенез. — В кн.: Орогенез в истории развития земной коры. Новосибирск, 1976б, с. 24—54.
- Борукаев Ч. Б. Периодизация геологической истории Земли. — Бюлл. МОИП. Отд. геол., 1976в, т. 51, вып. 5, с. 154—155.
- Браун Д., Кэмпбелл К., Крук К. Геологическое развитие Австралии и Новой Зеландии. М., 1970. 348 с.
- Ван Хун-чжень. Тектоническое районирование восточной части Китая, исходя из особенностей строения докембрия. Синийская система Китая и ее

- аналоги в других частях земного шара.— В кн.: Древнейшие породы Китая. М., 1962, с. 234—270.
- Гришяин Р. И.** К проблеме геотектонических циклов докембрия.— VI совещание по пробл. планетол.: Тез докл. Л., 1968, вып. 2, с. 56—59.
- Денисова Т. А.** Докембрий Австралийского сектора.— В кн.: Докембрий Тихоокеанского подвижного пояса. М., 1973, с. 142—162.
- Карсаков Л. П., Шульдинер В. И., Ленников А. М.** Гранулитовый комплекс восточной части Становой складчатой области и чогарская фация глубинности.— Изв. АН СССР. Сер. геол., 1975, № 5, с. 47—61.
- Кицул В. И., Шкодинский В. С.** Гранулитовая фация Алданского щита.— В кн.: Стратиграфия и седиментология. Геол. докембрия. М., 1976, с. 275—286.
- Конигов А. З., Травин Л. В., Шалек Е. А.** Литология и формационные особенности архейских образований юга Восточной Сибири.— В кн.: Пробл. осадочн. геол. докембрия. М., 1975, вып. 4, кн. 1, с. 265—271.
- Кратц К. О., Чернов В. М.** Ранний протерозой — крупнейший рубец в развитии земной коры.— В кн.: Петрол. и структурн. анализ кристаллич. образований. Л., 1970, с. 222—225.
- Кудрявцев В. А.** О стратиграфии и тектонике архей верховьев рек Тимптона и Гоама (Южная Якутия).— Геол. и геофиз., 1966, № 4, с. 54—63.
- Лазько Е. М.** Основы региональной геологии СССР. М., 1971, т. 3. 344 с.
- Леонов Ю. Г.** Новейшая активизация и альпийский орогенез.— Геотектоника, 1972, № 2, с. 3—14.
- Логвиненко Н. В., Айнемер А. И., Ритенберг М. И., Сергеева Э. И., Шванов В. Н.** Периодические процессы в геологии. Л., 1976. 264 с.
- Маракушев А. А.** Проблемы минеральных фаций метаморфических и метасоматических горных пород. М., 1965. 328 с.
- Мишкин М. А.** Петрология докембрийских метаморфических комплексов Хашкайского массива Приморья. М., 1969. 124 с.
- Муратов М. В.** Геосинклинальные складчатые пояса и системы. Их этапы развития и магматизм.— Изв. АН СССР. Сер. геол., 1967, № 10, с. 47—67.
- Нгуен Динь Кат.** Проблемы выделения стадий формирования земной коры.— Изв. АН СССР. Сер. геол., 1972, № 9, с. 72—79.
- Работнов В. Т.** Стратиграфия верхнего докембрия Охотского массива.— ДАН СССР, 1977, т. 234, № 1, с. 148—151.
- Ронов А. Б.** Общие тенденции в эволюции состава земной коры, океанов и атмосферы.— Геохимия, 1964, № 8, с. 715—743.
- Салоп Л. И.** Общая стратиграфическая шкала докембрия. Л., 1973. 310 с.
- Семихатов М. А.** Стратиграфия и геохронология протерозоя.— Тр. Геол. ин-та АН СССР, 1974, вып. 256. 302 с.
- Смирнов А. М.** Докембрий северо-запада Тихоокеанского подвижного пояса. М., 1976. 224 с.
- Стецюк М. И.** Верхний докембрий и кембрий Аргунь-Газимурского междуречья.— В кн.: Протерозойские комплексы восточ. части Забайкалья. Владивосток, 1977, с. 76—82.
- Страхов Н. М.** Типы литогенеза и их эволюция в истории Земли. М., 1963. 536 с.
- Тектоническая карта Евразии. М-б 1 : 5 000 000. Л., 1966.
- Тильман С. М.** Сравнительная тектоника мезозойд севера Тихоокеанского кольца.— Тр. СВКНИИ ДВНЦ АН СССР, 1973, вып. 40. 326 с.
- Хаин В. Е.** Региональная геотектоника. Северная и Южная Америка, Антарктида и Африка. М., 1971. 548 с.
- Хаин В. Е.** Основные этапы и общий характер эволюции литосферы.— В кн.: Очерки современ. геохимии и аналит. химии. М., 1972, с. 99—112.
- Хаин В. Е.** Общая геотектоника. М., 1973. 512 с.
- Хорева Б. Я.** Критерии расчленения и генезис метаморфических и гранитоидных ультраметаморфических комплексов. Л., 1978. 214 с.
- Хуан Бо-цин.** Основные черты тектонического строения Китая. М., 1952. 162 с.

- Шапвалова И. Г.** Стратиграфия и строматолиты рифейских отложений северной части Юдомо-Майского прогиба. Новосибирск, 1974. 140 с.
- Шлезингер А. Е.** О причинах разного понимания природы орогенных структур.—Геотектоника, 1975, № 2, с. 47—54.
- Штилле Г.** Геотектоническое расчленение истории Земли. Избр. труды. М., 1964, с. 344—394.
- Штилле Г.** Ассиитская тектоника в геологическом лике Земли. М., 1968. 256 с.
- Шульдинер В. И.** Докембрий на севере Тихоокеанского кольца. Новосибирск, 1973. 172 с.
- Шульдинер В. И.** Геотермический градиент в архее и условия формирования архейских комплексов.—Геол. и геофиз., 1976, № 2, с. 67—75.
- Шульдинер В. И.** О принципах построения общей геохронологической шкалы раннего докембрия (дорифея).—Изв. АН СССР. Сер. геол., 1978, № 6, с. 61—66.
- Шульдинер В. И., Недомолкин В. Ф.** Кристаллический фундамент Эскимосского массива.—Сов. геол., 1976, № 10, с. 33—47.
- Шульдинер В. И., Стецюк М. И.** Возраст и условия формирования верхнедокембрийских комплексов Восточного Забайкалья.—В кн.: Протерозойские комплексы вост. части Забайкалья. Владивосток, 1977, с. 112—116.
- Шульдинер В. И., Стецюк М. И., Саница С. М.** Верхний докембрий и кембрий на востоке Боршовочного хребта.—В кн.: Протерозойские комплексы вост. части Забайкалья. Владивосток, 1977, с. 52—75.
- Шульдинер В. И., Шульдинер И. С., Ершова Н. Г.** О стратиграфической последовательности архейских комплексов Восточной Азии и эволюции древнейшего седиментогенеза.—Геол. и геофиз., 1979, № 11.
- Anderson M. M.** A possible time span for the Late Precambrian of the Avalon Peninsula, southeastern Newfoundland in the light of worldwide correlation of fossils, tillites, and rock units within the succession.—*Canad. J. Earth Sci.*, 1972, vol. 9, N 2, p. 1710—1726.
- Bickford M. E., Mose D. G.** Geochronology of Precambrian rocks in the St. Francois Mountains, southeastern Missouri.—*Geology*, 1975, vol. 3, N 9, p. 537—540.
- Currie K. L.** Notes on the petrology of nepheline gneisses near Mount Copeland, British Columbia.—*Geol. Surv. Canada Bull.* 265, 1976. 28 p.
- Delong S. E., Long L. E.** Petrology and Rb—Sr age of Precambrian rhyolitic dikes, Llano County, Texas.—*Bull. Geol. Soc. America*, 1976, vol. 87, N 2, p. 275—280.
- Gabrielse H., Blusson S. L., Roddick J. A.** Geology of Flat River, Glacier Lake, and Wrigley Lake map-areas, District of Mackenzie and Yukon territory.—*Geol. Surv. Canada*, 1973, N 366. 153 p.
- Jahn B., Shih C.** On the age of the Onverwacht Group, Swaziland Sequence, South Africa.—*Geochim. Cosmochim. Acta*, 1974, vol. 38, N 6, p. 873—885.
- McMillan W. J.** Petrology and structure of the west flank Frenchman's Cap dome, near Revelstoke, British Columbia.—*Geol. Surv. Canada. Paper* 71—29. 1973. 88 p.
- Poole W. H.** Plate tectonic evolution of the Canadian Appalachian region.—*Geol. Surv. Canada Paper* 76—1B, 1976, p. 113—126.
- Reesor J. E.** Some aspects of structural evolution and regional setting in part of the Shuswap Metamorphic Complex.—*Geol. Assoc. Canada Spec.*, 1970, vol. 6, p. 73—86.
- Reesor J. E., Moore J. M.** Petrology and structure of Thor-Odin gneiss dome, Shuswap Metamorphic Complex. British Columbia.—*Geol. Surv. Canada Bull.*, 1971, vol. 195. 149 p.
- Schwab F. L.** Depositional environments, provenance, and tectonic framework: upper part of the Late Precambrian Mount Rogers Formation, Blue Ridge Province, southwestern Virginia.—*J. Sediment. Petrol.*, 1976, vol. 46, N 1, p. 3—13.

*В. А. Рудник, С. Д. Великославинский, В. Н. Верхало-Узкий,
В. С. Певзнер, Э. В. Собонович*

ЭВОЛЮЦИЯ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ И ПЕРИОДИЗАЦИЯ ДОКЕМБРИЯ

Традиционные геологические подходы к расчленению и корреляции докембрия не всегда приводят к удовлетворительным результатам. Для решения этих задач необходима разработка новых методов, в частности, представляется целесообразным использование геохимических данных, отражающих такие свойства геологических тел, познание которых другими методами невозможно.

Расчленение и корреляция докембрийских образований по геохимическим показателям проведены на данных опорных разрезов двух районов: центральной части Алданского щита и Приангарской части Сибирской платформы. Эти разрезы позволяют рассмотреть стратиграфические аспекты геохимических исследований в докембрийских породах, различающихся по возрасту, формационной принадлежности и уровню метаморфизма, что дает возможность оценить с более общих позиций как методику, так и результаты исследований.

Алданский щит (рис. 1) выбран потому, что здесь сохранился наиболее полный разрез раннего докембрия, стратиграфия которого считается хорошо изученной. Глубоко метаморфизованные образования щита расчленены (снизу вверх) на верхнеалданскую, федоровскую и тимптоно-желтулинскую серии, между которыми предполагаются крупные стратиграфические и структурные несогласия (Максимов, Угрюмов, 1966; Мокроусов, 1970; Фрумкин, 1971; и др.).

Для характеристики metabазальтов щита использованы результаты 133 силикатных анализов, 104 из которых сделаны в химико-аналитической лаборатории ВСЕГЕИ. В этих же пробах количественным эмиссионно-спектральным методом внешнего стандарта В. В. Хохлова в лаборатории физических методов исследования ВСЕГЕИ (аналитик В. А. Миронова) определено содержание примесных элементов — Ва, Sr, Мп, V, Ti, Pb, Ni, Sc, Со. Распределение величин выборок по геологическим комплексам показано в табл. 1. Конкретные результаты анализов опубликованы ранее (Великославинский, 1977). Все фактические данные обработаны известными петрогеохимическими методами (Доморацкий, 1964; Грин, Рингвуд, 1968; Пре-

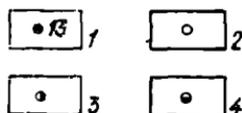
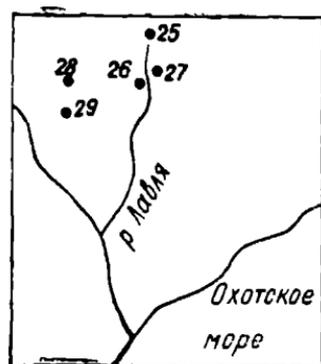
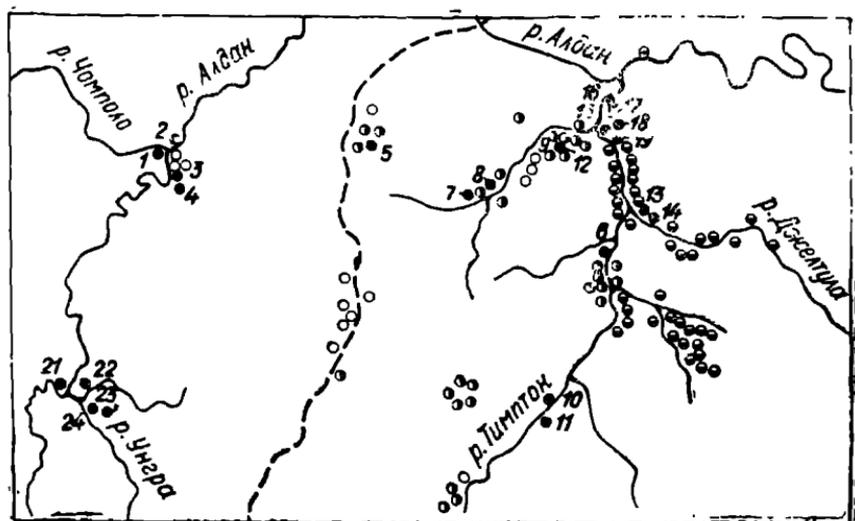


Рис. 1. Схема отбора проб на Алданском шите

1— для свинцово-изохронных исследований: 1—4 — сланцы верхнеалданской и 5—9 — федоровской серий; 10—11 — мраморы и 12 — кальцит-магнетитовые биметасоматические породы федоровской серии; 13—14 — мраморы иджакской свиты; 15—17 — сланцы и 18—19 — мраморы кюриканской свиты; 20 — мраморы сутамской свиты; 21—24 — сланцы унгринского и 25—29 — сталевого комплексов (из коллекций С. Д. Великославинского, В. И. Кишула, Д. А. Михайлова, В. Н. Мошкина и И. Н. Дагелайской, В. А. Рудника, В. Г. Тарасовой, В. М. Терентьева и Л. В. Травина). 2—4 — метабазальты для петрогеохимических исследований: верхнеалданской (2), федоровской (3) и тимптоно-желтулинской (4) серий

довский, 1970; Грин, 1973; Pearce, Cann, 1973; Pearce et al., 1975; и др.). Кроме того, с помощью программ «статистика», «дискриминантный анализ» и «факторный анализ» на ЭВМ БЭСМ-4 изучены закономерности распределения петрогенных и примесных элементов. В качестве реперных объектов использованы предполагаемые метабазальтоиды — кристаллические сланцы основного состава, так как именно для базальтоидов

Среднее выборочное содержание петрогенных элементов в негранитизированных метабазальтах различных метаморфических комплексов Восточной Сибири

Регион и стратиграфическое подразделение		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	n	
Алдано-Стаповой щит	Верхнеалданская серия	48,95	1,44	13,95	4,04	9,72	0,23	6,78	10,26	3,02	0,68	23	
	Федоровская серия	48,72	1,21	15,98	4,61	6,40	0,15	6,67	9,45	3,76	1,44	32	
	Тимптоно-желтулинская серия	Т	48,97	1,15	15,46	2,21	9,34	0,18	7,37	10,45	2,37	0,83	36
		Щ	48,95	1,28	15,11	3,28	8,28	0,18	7,11	10,34	3,57	1,19	42
	Сугамский комплекс	48,18	1,24	14,32	4,42	9,57	0,27	7,27	11,05	2,23	0,43	19	
	Курультинская серия	47,99	1,25	14,02	3,32	10,07	0,22	8,50	10,96	2,19	0,41	7	
	Олекминская серия	Т	48,13	0,87	14,68	4,04	8,61	0,20	8,58	10,76	1,91	0,81	10
		Щ	49,21	0,76	15,04	3,77	7,45	0,17	8,13	10,67	3,28	1,15	4
	Унгринский комплекс	Т	48,44	1,06	12,09	4,82	7,50	0,15	11,00	11,52	1,79	0,41	4
		Щ	48,84	0,85	17,76	4,65	6,17	0,16	5,66	10,17	3,58	0,80	7
Джанинская серия	48,39	1,51	14,34	4,50	8,50	0,20	8,19	10,16	2,52	0,44	11		
Енисейский край	Канская серия	49,86	1,17	15,03	2,37	11,08	0,18	6,64	9,77	2,39	0,51	23	
Анабарский массив	Далдынская серия	48,00	1,21	15,83	3,37	10,95	0,22	7,53	9,71	1,81	0,73	8	
	Верхнеанабарская серия	49,05	1,31	17,80	4,04	7,09	0,14	6,19	9,68	3,42	1,13	5	
Охотский массив	Охотско-Кухтуйское поднятие	47,98	0,84	15,66	2,59	9,26	0,12	6,47	9,64	3,29	1,54	7	
	Верхнемайское поднятие	48,51	0,93	11,97	3,19	10,17	0,17	8,40	11,14	2,17	0,81	5	

Примечание. Т и Щ — толеитовая и щелочнобазальтовая петрохимические серии, n — величина выборки. В расчет выборочных средних включались лишь плагиоклазовые кристаллические сланцы и амфиболиты с содержанием SiO₂ < 51%.

разработаны петрогеохимические и физико-химические критерии определения принадлежности к океаническому или континентальному типу, а также критерий глубины возникновения первоначальных магм. Метабазальтоиды наряду с мраморами позволяют провести геохронологическую «привязку» выделяемых и коррелируемых по геохимическим данным стратиграфических подразделений. Важно и то, что метабазальтоиды — породы, химически наименее измененные при метаморфизме, а для их измененных (например, гранитизированных) разностей установлена достаточно надежная петрохимическая система отбраковки проб (Великославинский, 1976, 1977).

Геохимические исследования неметаморфизованных комплексов докембрия проведены на опорном геохимическом разрезе в бассейне р. Котуйкан (Западное Приангарье). Разрез охватывает геологические формации нижней части чехла Сибирской платформы — от древнейших неметаморфизованных образований протерозоя (ильинская, бурдурская и лабстахская свиты) до пород венда — кембрия включительно (манькайская, эмьяксинская и киндинская свиты). Общая мощность разреза около 2400 м, средний шаг опробования 7 м.

Все пробы (350 шт.) изучены спектрохимически (количественно) В. И. Латайкиным и В. В. Хохловым во ВСЕГЕИ на 18 элементов: Ti, Ga, Zr, Al, Be, Y, Pb, Sr, Ba, Sc, Mo, Cu, Zn, V, Ni, Co, Mn, Cr. Количественные результаты обработаны на ЭВМ БЭСМ-4 по программам «статистика» и «многократная корреляция» в режиме «скользящего окна» (Певзнер, Бурков, 1976). Кроме того, для каждого шага изучены пространственные геохимические структуры.

Расчленение и корреляция метаморфических комплексов докембрия

Для расчленения и корреляции кристаллических пород докембрия использованы данные о распределении петрогенных и примесных элементов в метабазальтоидах — кристаллических сланцах основного состава. Первичномагматическая природа сланцев установлена по ряду признаков: выявляемому прямым сопоставлением и с помощью реконструкционных петрохимических диаграмм Н. А. Доморацкого и А. А. Предовского сходству их химического состава с составом основных магматических пород; сходству геохимических ассоциаций (Великославинский, 1976); прохождению свинцово-свинцовых изохрон исследуемых сланцев через точку современного состава свинца (Рудник и др., 1970; Рудник, Соботович, 1973); соответствию изменений вещественного состава сланцев законам магматической дифференциации. При обработке геохимических данных по метабазальтоидам, чтобы исключить влияние гранитизации, ис-

пользованы результаты только тех анализов, в которых содержание SiO_2 не превышало 51% (Великославинский, 1976, 1978).

Метабазальты верхнеалданской серии относятся, согласно нормативной классификации базальтов (Грин, Рингвуд, 1968), к толеитам, федоровской — к щелочным базальтам, тимптоно-желтулинской серии делятся на две петрохимические серии: толеитов и щелочных базальтов (рис. 2).

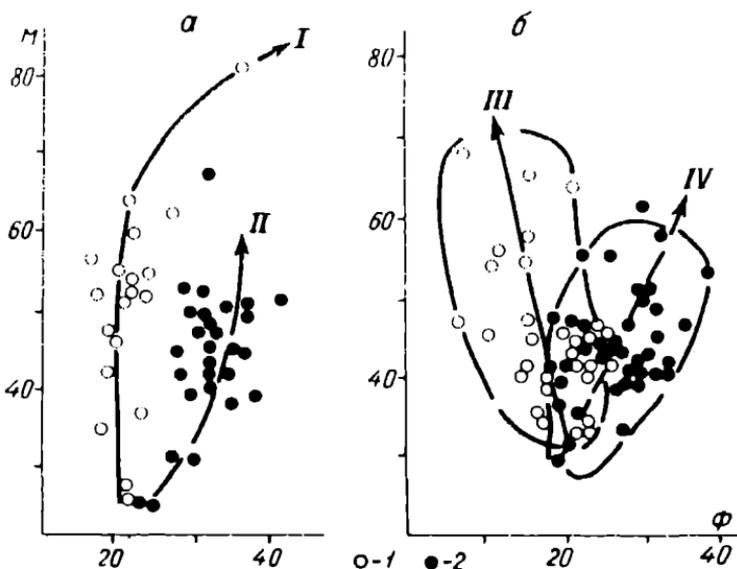


Рис. 2. Результаты реконструкций направления дифференциации метабазальтов верхнеалданской (I), федоровской (II) и тимптоно-желтулинской (III, IV) серий на диаграмме Е. С. Симпсона: $M = (\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3) / (\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO})$, $\Phi = (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) / (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO})$ в молекулярных количествах (Великославинский, 1976).

1 — толеитовые, 2 — щелочные метабазальты; величины выборок в табл. 1. Уменьшение величины Φ в ходе дифференциации толеитовых метабазальтов указывает на фракционирование щелочных минералов

Изучение вещественного состава на уровне оценки генерального среднего содержания как петрогенных, так и малых элементов позволило выявить различия между разновозрастными метабазальтоидами (рис. 3). Этот вывод подтвержден результатами дискриминантного анализа (табл. 2—4), с помощью которого определение стратиграфического положения пород может проводиться по данным о содержании петрогенных и малых элементов в метабазальтах (в последовательности: толеиты — щелочные базальты по уравнению 7 из табл. 2; толеиты верхнеалданской — тимптоно-желтулинской серий по уравнению 2 из табл. 2 и уравнению 1 из табл. 3; щелочные базальты

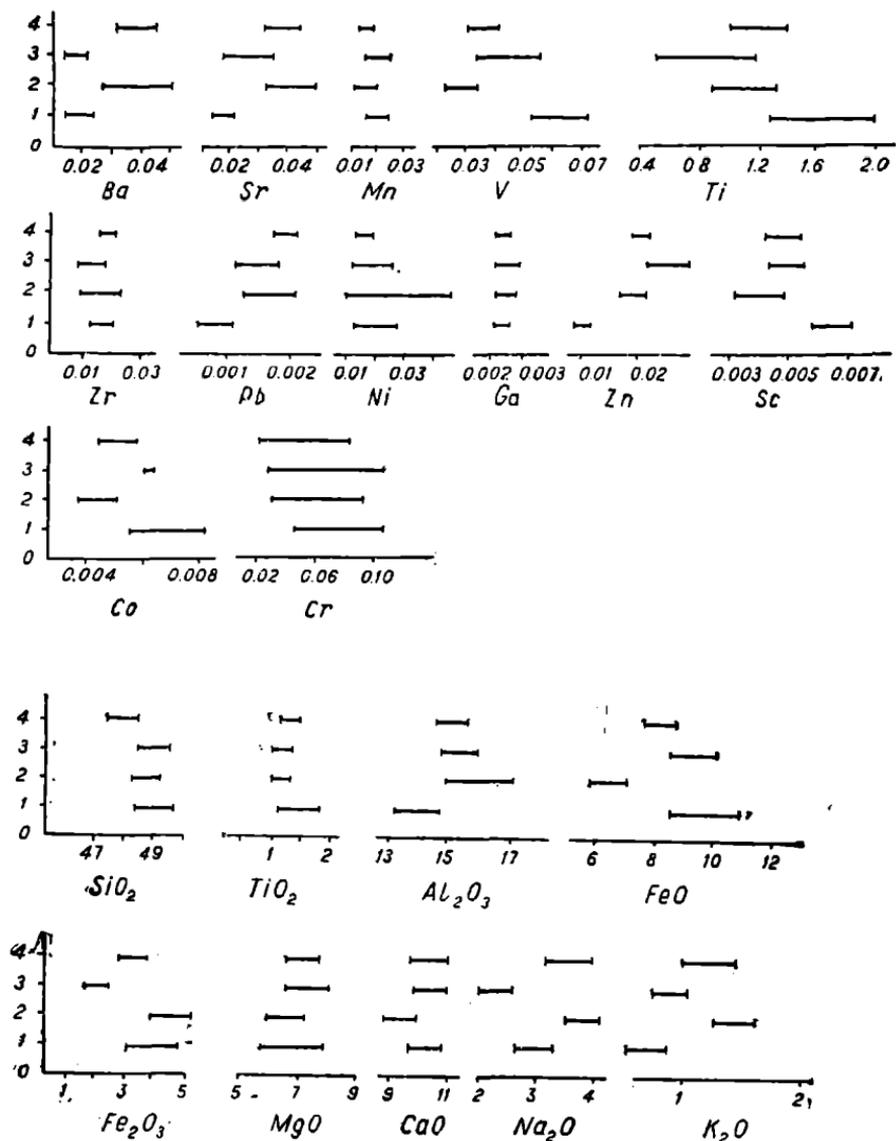


Рис. 3. Оценки (с 95%-ной вероятностью) генерального среднего содержания малых и петrogenных элементов в метабазальтах верхнеалданской (1) и федоровской (2) серий, в толентовых (3) и щелочных (4) метабазальтах тимптоно-желтулинской серии (0 — шкала, % массы).

Величины выборок для малых элементов соответственно 24, 21, 31, 38, для петrogenных 23, 32, 36, 42

ты федоровской — тимптоно-желтулинской серий по уравнению 4 из табл. 2 и 3).

Изучение петрологических особенностей метабазальтов, в

Дискриминантные функции, различающие metabазальты метаморфических серий центральной части Алданского щита по содержанию петрогенных элементов (Великославинский, 1977)

Объекты	Уравнение дискриминантной функции	d	R, %	Объемы выборки	
				1	2
va—fd*	$0,011Al_2O_3 + 0,187Fe_2O_3 - 0,727FeO - 0,241CaO + 1,447Na_2O + 5,935K_2O - 3,932 = 0$	2,89	9,6	23	32
va—td _T *	$0,502Al_2O_3 - 0,646Fe_2O_3 - 0,110FeO + 0,060MgO + 0,307CaO - 0,743Na_2O + 1,639K_2O - 7,147 = 0$	1,67	19,2	23	36
va—td _ш	$0,636Al_2O_3 - 0,387Fe_2O_3 - 0,090FeO + 0,362MgO + 1,512CaO + 2,015Na_2O + 4,189K_2O - 35,156 = 0$	2,16	9,3	23	42
fd—td _ш	$0,066Al_2O_3 - 0,145Fe_2O_3 + 0,705FeO + 0,040MgO + 0,372CaO - 0,162Na_2O - 0,055K_2O - 7,736 = 0$	1,50	24,0	32	42
fd—td _T	$0,063Al_2O_3 - 1,211Fe_2O_3 - 0,411FeO - 0,030MgO - 0,409CaO - 2,342Na_2O - 3,691K_2O + 15,560 = 0$	3,03	7,3	32	36
td _T —td _ш	$-0,365Al_2O_3 - 0,673Fe_2O_3 - 0,009FeO - 0,059MgO + 0,659CaO + 2,653Na_2O + 2,045K_2O - 13,401 = 0$	2,17	12,1	36	42
Толенты — щелочные базальты	$-0,085Al_2O_3 + 0,164Fe_2O_3 - 0,215FeO + 0,669CaO + 2,088Na_2O + 2,955K_2O - 13,857 = 0$	1,99	13,8	59	74

Примечание. va, fd, td_T, td_ш — соответственно metabазальты верхнеалданской и федоровской серий, толентовые и щелочные metabазальты тимптоно-желтулинской серии, d — обобщенное расстояние, R, % — средневзвешенный эмпирический риск неправильной классификации. Выборку metabазальтов тимптоно-желтулинской серии составляют metabазальты иджакской, улунчинской, суннагинской и кюриканской свит. Если значение дискриминантной функции меньше нуля, то классифицируемый объект относится к первой группе. Звездочкой отмечены объекты, которые лучше дискриминируются по содержанию малых элементов.

частности исследование процессов магматической дифференциации, дополняет сведения о различиях толщ, так как позволяет устанавливать причины этих различий. Так, сравнение трендов дифференциации metabазальтов щита с помощью диаграммы Е. С. Симпсона (рис. 2) приводит к выводу об индивидуальности процессов дифференциации каждой metabазальтовой серии. Более тонкие различия вскрываются при исследовании поведения элементов в процессе дифференциации, для чего использованы диаграммы в координатах «содержание элемента — величина индекса Куно» или «содержание элемента — отсчет по первой главной компоненте» (рис. 4). Вероятно, сходство направления первой главной компоненты с вектором процесса диф-

**Дискриминантные функции, различающие комплексы центральной части
Алданского щита по химическому составу метабазальтов**

Объекты	Уравнение дискриминантной функции	d	R, %	Объемы выборки	
				1	2
va—td _τ	$-0,312\text{SiO}_2 + 0,369\text{Al}_2\text{O}_3 - 0,745\text{Fe}_2\text{O}_3 -$ $-0,280\text{FeO} + 0,117\text{CaO} - 0,818\text{Na}_2\text{O} +$ $+0,727\text{K}_2\text{O} + 15,252 = 0$	1,67	16,4	23	27
va—td _ш	$-1,06\text{SiO}_2 + 0,299\text{Al}_2\text{O}_3 - 1,039\text{Fe}_2\text{O}_3 -$ $-0,945\text{FeO} + 1,041\text{CaO} + 1,684\text{Na}_2\text{O} +$ $+3,861\text{K}_2\text{O} + 39,970 = 0$	2,43	8,4	23	32
fd—td _τ	$0,238\text{SiO}_2 + 0,146\text{Al}_2\text{O}_3 - 1,117\text{Fe}_2\text{O}_3 +$ $+0,538\text{FeO} - 0,083\text{CaO} - 2,542\text{Na}_2\text{O} -$ $-1,083\text{K}_2\text{O} - 1,224 = 0$	3,24	6,8	32	27
fd—td _ш	$0,273\text{SiO}_2 + 0,194\text{Al}_2\text{O}_3 - 0,554\text{Fe}_2\text{O}_3 +$ $+0,843\text{FeO} + 0,265\text{CaO} - 0,994\text{Na}_2\text{O} -$ $-2,012\text{K}_2\text{O} - 16,844 = 0$	1,86	20,3	32	32

Примечание. Обозначения в табл. 2. В выборку типитоно-желтулинской серии не включены метабазальты иджакской свиты.

Таблица 4

**Дискриминантные функции, различающие метабазальты метаморфических
серий центральной части Алданского щита по содержанию малых элементов
(Великославинский, 1977)**

Объекты	Уравнение дискриминантной функции	d	R, %	Объемы выборки	
				1	2
va—fd	$-25,689\text{Ba} + 92,758\text{Sr} - 2,934\text{Mn} -$ $-139,583\text{V} + 2,857\text{Ti} + 1113,907\text{Pb} +$ $+7,622\text{Ni} - 91,550\text{Sc} - 387,398\text{Co} +$ $+2,19 = 0$	2,62	4,8	24	21
va—td _τ	$-146,337\text{Ba} + 62,368\text{Sr} + 15,196\text{V} -$ $-0,611\text{Ti} + 3526,936\text{Pb} + 143,583\text{Zn} -$ $-1679,748\text{Sc} - 37,449\text{Co} + 4,172 = 0$	2,56	11,3	24	31
va—td _ш	$-34,592\text{Ba} + 54,265\text{Sr} - 81,530\text{V} +$ $+0,876\text{Ti} + 842,441\text{Pb} - 172,509\text{Zn} -$ $-42,744\text{Sc} - 217,344\text{Co} + 5,505 = 0$	2,01	14,9	24	38
fd—td _ш	$1,369\text{Ba} + 10,633\text{Sr} + 23,561\text{V} -$ $-0,728\text{Ti} + 85,955\text{Pb} + 154,571\text{Zn} +$ $+220,945\text{Sc} + 229,773\text{Co} - 4,957 = 0$	0,84	34,8	21	38
fd—td _τ	$+63,308\text{Ba} + 14,619\text{Sr} + 27,730\text{V} -$ $-2,412\text{Ti} - 852,600\text{Pb} + 288,231\text{Zn} -$ $-43,409\text{Sc} + 706,939\text{Co} - 3,862 = 0$	2,05	16,7	21	31
td _τ —td _ш	$-3,909\text{Ba} + 13,179\text{Sr} - 15,168\text{V} -$ $-0,456\text{Ti} + 338,045\text{Pb} - 176,691\text{Zn} +$ $+380,766\text{Sc} - 216,350\text{Co} + 1,476 = 0$	1,22	19,8	31	38

Примечание. Обозначения в табл. 2.

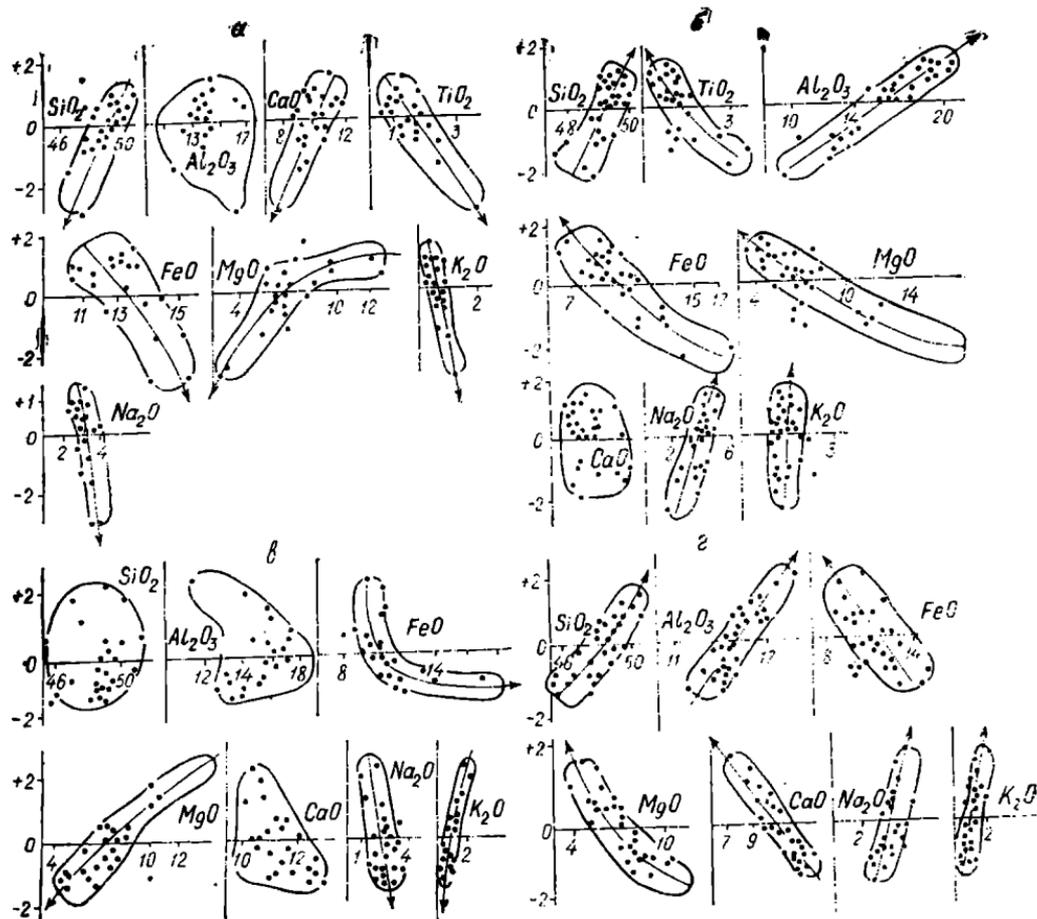


Рис. 4. Изменения содержания петрогенных элементов в зависимости от первой главной компоненты (интерпретированы как изменения, связанные с процессами дифференциации метабазальтов).

а — толентовые мета­базальты верхнеалданской серии, б — щелочные мета­базальты федоровской серии, в — толентовые, г — щелочные мета­базальты тимптоно­желтулинской серии; стрелки — направления дифференциации, точки — средние величины содержания элементов, использованные для расчета состава фракционируемых кристаллических фаз (Великославинский, 1978); FeO — общее

ференциации обусловлено тем, что эта компонента отражает максимальную изменчивость исследуемой совокупности (процесс, приводящий к максимальной изменчивости исследуемых базальтов, — магматическая дифференциация).

Интерпретация установленных закономерностей с позиций кристаллизационной дифференциации позволяет определить минеральные ассоциации, удаление которых из исходного расплава должно было вызывать наблюдаемые изменения в содержании химических элементов (Великославинский, 1978). Так, выявленная эволюция петрохимического состава толеитовых метабазальтов верхнеалданской серии (рис. 4а) могла иметь место при фракционировании из расплава 42% Пл₉₀ + 33% Опи₁₀₀ + 10% Кпи + 15% Ол₉₀¹, что соответствует экспериментально изученным процессам фракционирования толеитов при $p=1$ атм (Грин, Рингвуд, 1968). Изменения состава щелочных метабазальтов федоровской серии (рис. 4б) могут быть объяснены удалением из исходного базальтоидного расплава 70% Кпи₉₀ + 23% Пл₉₀ + 7% О₉₀, что согласуется с экспериментально изученной дифференциацией щелочных базальтов при $p \approx 9$ кбар (Грип, Рингвуд, 1968). Петрохимическая эволюция толеитовых метабазальтов тимптоно-джелтулинской серии (рис. 4в) могла быть вызвана осаждением из расплава 33% Пл₉₂ + 26% Фл₁₀₀ + 18% Ол₁₀₀ + 16% Кпи₁₀₀, что отвечает большой глубине гиперации магмы ($p \approx 15-20$ кбар) при существенной роли близповерхностной дифференциации при $p \approx 9$ кбар (Грин, 1973). Эволюция щелочных метабазальтов этой серии (рис. 4г) могла иметь место при фракционировании из расплава 49% Ро₈₁ + 13% Кпи₈₁ + 31% Ол₈₁, что отвечает экспериментально изученным процессам фракционирования щелочных базальтов при $p \approx 15$ кбар (Грин, 1973).

Таким образом, основанное на сопоставлении с результатами экспериментальных исследований дифференциации базальтоидов петрохимическое моделирование процессов кристаллизационной дифференциации позволяет подойти к оценке глубинности магмообразования.

На основании соотношений содержания TiO_2 , K_2O , P_2O_5 , а также Ti , Zn и Sr , используемых в качестве критерия распознавания океанических и континентальных типов базальтоидов (Pearce, Cann, 1973; Pearce et al., 1975), метатоленты верхнеалданской серии могут быть отнесены к океаническим, а метабазальты федоровской и тимптоно-джелтулинской серий — в целом к континентальным (рис. 5).

Установленные различия как содержания петрогенных и

¹ Фракционируемые нормативные минералы рассчитаны по системе GIPW в процентах по массе: Кпи — клинопироксен, Ол — оливин, Опи — ортопироксен, Пл — плагиоклаз, Ро — роговая обманка, Фл — флогопит; индекс при Пл обозначает его номер, при остальных компонентах — их магnezность.

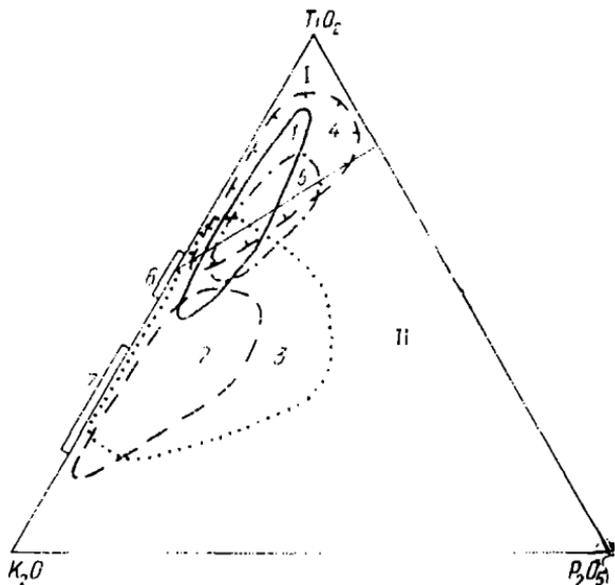


Рис. 5. Диаграмма для определения океанических (поле I) и континентальных (поле II) базальтов (Pearce et al., 1975).

1 — поле составов metabазальтов верхнеалданской, 2 — федоровской, 3 — тимптоно-желтулинской серий, 4 — сутамского комплекса, 5 — канской серии, 6 и 7 — проекции поля составов metabазальтов Верхнемайского и Охотско-Кухтуйского поднятий Охотского срединного массива; величины выборок в табл. 1

малых элементов в metabазальтоидах рассматриваемых стратиграфических подразделений, так и обобщенных петрологических характеристик, связываемых с типом магмы, глубиной ее формирования и т. п., могут быть использованы для корреляции и стратиграфического анализа докембрийских комплексов.

В то же время столь глубокие различия в условиях формирования базальтоидов позволяют выдвинуть полициклическую модель становления алданского докембрия, в котором верхнеалданская, федоровская и тимптоно-желтулинская серии соответствовали самостоятельным тектоно-магматическим циклам (Рудник, 1973, 1975; и др.). Обратимся к рассмотрению возраста этих циклов и соответствующих им стратиграфических подразделений.

Для определения радиологического (нуклеинового) возраста в качестве типоморфных пород были использованы мраморы (Герлинг, Искандерова, 1976) и metabазальтоиды. Исследование проводилось свинцово-ураново-ториевым изохронным методом по породе в целом (Рудник и др., 1970; Рудник, Соболевич, 1971, 1973). При этом необходимым условием соответствия радиологического возраста времени формирования пород, а не их последующего преобразования является про-

хождение свинцово-свинцовых изохрон через точку современного свинца магматических пород, достаточным условием служит совпадение свинцово-свинцового и свинцово-ториевого изохронных возрастов по породе в целом (для метабазальтоидов). Проверка проводилась методами согласованных разностей и фракционной возгонки (Соботович, 1970; Соботович, Комаристый, 1976). Свинцово-свинцовый изохронный возраст при хорошей согласованности свинцово-изотопных отношений (хорошей изохронности «точек») может рассматриваться в случае неоднократного проявления процессов регионального метаморфизма и ультраметаморфизма как минимальный достоверный возраст формирования метавулканитов и мраморов или при однократном развитии этих процессов отвечать времени формирования пород и их прогрессивного метаморфизма.

Проведенное ранее свинцово-изохронное датирование привело к представлению о двучленном строении докембрия центральной части Алданского щита и о его разделении на иенгрский (верхнеалданская и федоровская серия) и тимптоно-джелтулинский (тимптонская и джелтулинская серии, которые правильнее объединить в единую серию) комплексы. Время формирования этих комплексов (а в пределах погрешности определения и их прогрессивного метаморфизма) определялось в 3300 ± 200 и 2330 ± 160 млн. лет (Рудник, Соботович, 1971; Рудник, 1973).

Новейшие свинцово-изохронные определения подтвердили разновозрастность этих комплексов. Свинцово-свинцовый изохронный возраст метавулканитов федоровской серии (3 обр.) составил 3370 ± 230 млн. лет, мраморов (6 обр.) — 2830 ± 160 млн. лет; урано-свинцовый изохронный возраст мраморов — 3800 ± 150 млн. лет (рис. 6)². Свинцово-свинцовый изохронный возраст метавулканитов кюриканской свиты из тимптоно-джелтулинского комплекса (5 обр.) составил 2330 ± 180 мраморов (6 обр.) — 2080 ± 40 млн. лет (рис. 7); как наиболее достоверный принимается близкий к значению по метавулканитам ранее полученный результат³ в 2330 ± 100 млн. лет.

Таким образом, можно с уверенностью ставить вопрос минимум о двучленном делении алданского докембрия. Геохимические материалы в совокупности с геологическими наблюдениями подтверждают справедливость выделения и третьего самостоятельного стратиграфического подразделения — верхне-

² Свинцово-свинцовый изохронный возраст методом фракционной возгонки для единичного образца «основного» кристаллического сланца (проба 20 г) составил $3200 \begin{smallmatrix} +340 \\ -470 \end{smallmatrix}$ млн. лет.

³ Ранее определенный свинцово-свинцовый изохронный возраст мраморов сутамской свиты (8 обр. коллекции Д. А. Михайлова) согласуется с урано-свинцовым изохронным, он составил примерно $2300 \pm$ млн. лет (Герлинг, Искандерова, 1976).

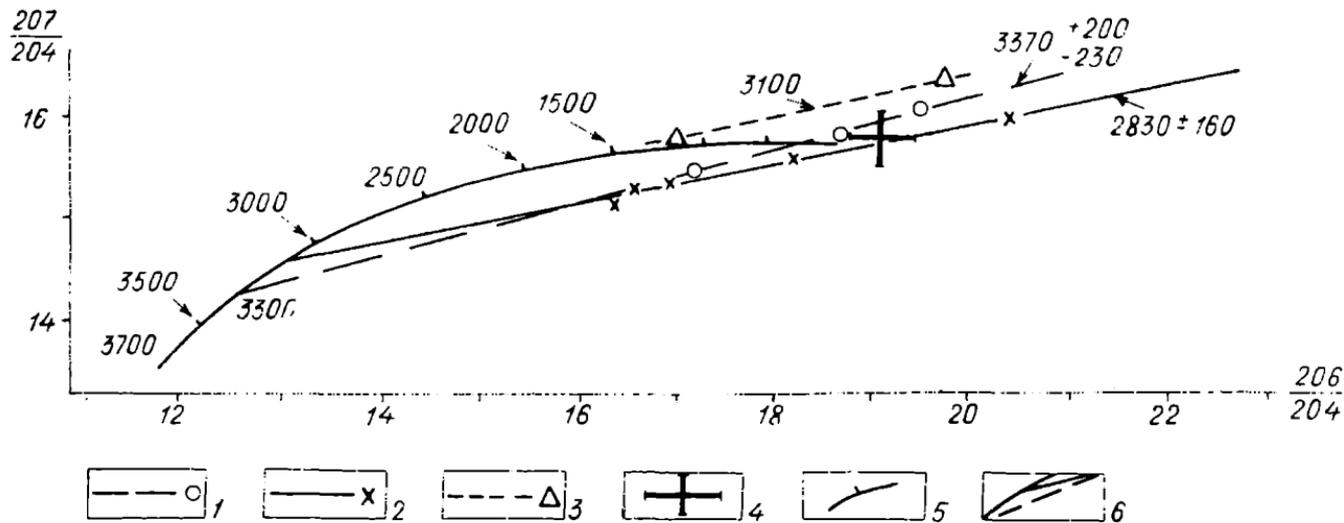


Рис. 6. Свинцово-свинцовые изохроны и возраст пород федоровской серии (Искандерова и др., 1977; Рудник и др., 1969).

1 — изохрона и «точки» кристаллических сланцев основного состава; 2 — изохрона и «точки» мраморов; 3 — изохрона и «точки» биметасоматических образований; 4 — точка современного состава свинца (Рудник и др., 1970); 5 — кривая накопления свинца; 6 — модельный возраст Холмса-Хаугермонса (3100—3300 млн. лет)

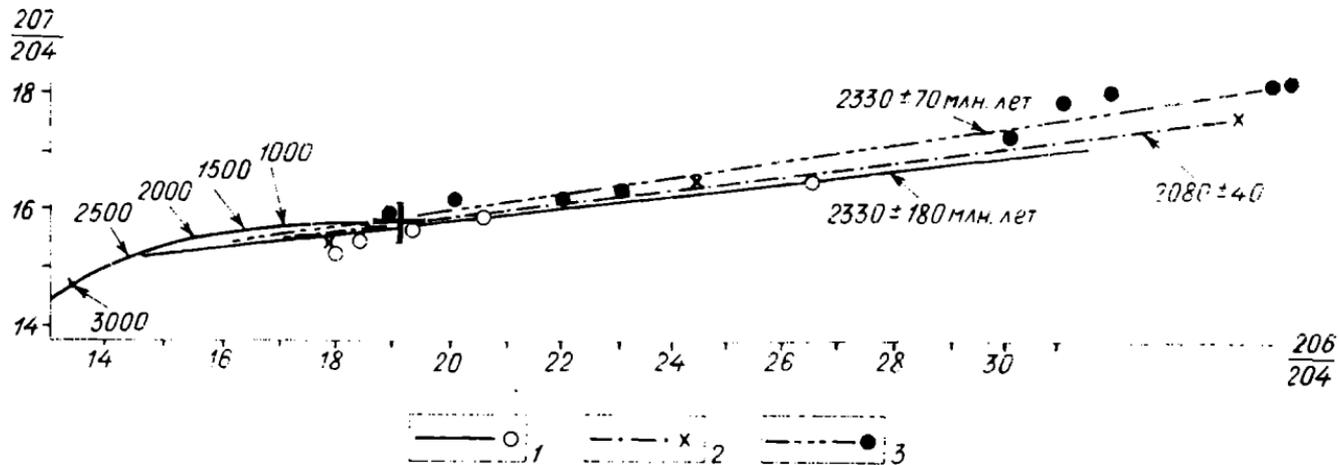


Рис. 7. Свинцово-свинцовые изохроны пород тимптоно-желтулинской серии и их возраст (Искандерова и др., 1977). 1—изохрона и «точки» основных кристаллических сланцев и 2—мраморов кюрканской свиты; 3—мраморов сугамской свиты (Герлинг, Искандерова, 1976); остальные обозначения см. рис. 6

алданской серии, которая, по-видимому, значительно древнее федоровской. Предварительное свинцово-свинцовое изохронное определение возраста метатолентов верхнеалданской серии (пробы В. И. Кицула, 5 обр.) дает $3800 \frac{0021-}{009+}$ млн. лет (Искандерова и др., 1977).

Установленная на Алданском щите приуроченность различных типов метабазальтов к разновозрастным стратиграфическим подразделениям позволяет провести корреляцию и других докембрийских комплексов Восточной Сибири на основе тех же петрохимических признаков: по принадлежности метабазальтов к толеитовой или щелочнобазальтовой сериям, к океаническому или континентальному типам; по выведенной глубине магмообразования (табл. 1, рис. 5).

Один из дискуссионных вопросов нижнего докембрия Восточной Сибири — стратиграфический уровень сутамского комплекса, развитого в юго-восточной части Алданского щита. Этот комплекс коррелируют с тимптоно-желтулинской или с верхнеалданской серией или считают еще более древним. Петрогеохимический анализ основных кристаллических сланцев комплекса, метабазальтовая природа которых доказана многими исследователями (Кастрыкина, 1974; Глуховский, 1975), показал, что они представлены океаническими метатолитами, дифференциация которых обусловлена фракционированием $57\% \text{Pl}_{100} + 3\% \text{Кпн}_{100} + 38\% \text{Опн}_{100} + 2\% \text{Ол}_{100}$, что соответствует малым глубинам. Эти признаки позволяют коррелировать образовавшаяся сутамского комплекса с верхнеалданской серией.

Кристаллические сланцы основного состава канской серии Енисейского края отвечают по вещественному составу толеитовым базальтам океанического типа. Закономерности изменений содержания элементов в процессе дифференциации позволяют предполагать фракционирование $52\% \text{Pl}_{55} + 25\% \text{Опн}_{100} + 15\% \text{Кпн}_{100} + 8\% \text{Ол}_{001}$, что свидетельствует о небольших глубинах магмообразования и дифференциации. Эти характеристики дают возможность коррелировать образования канской серии с верхнеалданской, что подтверждается и результатами геохронологических исследований: свинцово-урано-торпевый изохронный возраст чарнокитов Енисейского края составил 4100 ± 200 млн. лет (Волобуев и др., 1977).

Породы фундамента Охотского массива относятся к разным стратиграфическим подразделениям: то к нижнему протерозою, то к нижнему архею. Согласно результатам петрогеохимического анализа, их следует расчленить на два комплекса: а) кристаллические сланцы Верхнемайского поднятия, представленные однородными метабазальтами океанического типа, их уместно коррелировать с верхнеалданской серией; б) сланцы Охотско-Кухтуйского поднятия, представленные щелочными континентальными метабазальтами, сопоставимыми с федо-

ровской серией. Этот вывод подтверждается и данными определения возраста. Свинцово-изохронное датирование сланцев Охотско-Кухтуйского поднятия дает согласованный возраст 3700 ± 500 млн. лет (Корольков и др., 1974), свинцово-свинцовый изохронный возраст кристаллических сланцев основного состава Тайгоносского и Омолонского кристаллических массивов равен соответственно 3100 ± 120 и 3250 ± 300 млн. лет (Соботович, Искандерова и др., 1977). Эти данные позволяют предварительно коррелировать образования названных массивов с супракрустальными комплексами не моложе федоровской серии.

В пределах Анабарского кристаллического массива выделяются далдынская и верхнеанабарская серии. Основные сланцы первой представлены метатолитами, второй — щелочными метабазами. Это позволяет проводить их сопоставление с верхнеалданской и федоровской сериями. В пользу такого вывода свидетельствует и свинцово-урано-ториевый возраст аксессуарных минералов пегматитов из верхнеанабарской серии, он составляет 3500 ± 500 млн лет (Геохронология докембрия..., 1968).

Петрохимический анализ (предварительные данные) описанных М. Г. Равичем и Е. И. Каменевым (1972) метабазальтоидов Земли Эндерби в Антарктиде дает основания отнести основные сланцы Нейпирской зоны (пироксен-гранулитовая субфация) к океаническим метатолитам, а более молодые сланцы из Рейнерской зоны (роговообманково-гранулитовая субфация) — к щелочным метабазальтам и сопоставить их с верхнеалданской и федоровской сериями. Для пород Нейпирской зоны свинцово-свинцовый и свинцово-ториевый изохронные возрасты по породам в целом и свинцово-свинцовый изохронный возраст методом фракционной возгонки по единичным образцам составили 3900 ± 300 млн. лет (Соботович и др., 1974). К этой величине близки значения других определений возраста пород верхнеалданской серии и ее стратиграфических аналогов.

Предварительный петрогеохимический анализ пород удско-майской серии на востоке Становой области и унгринского комплекса в центральной части Алданского щита показал, что их амфиболиты и роговообманковые сланцы (амфиболитовая фация) представлены двумя петрохимическими сериями — толеновой и щелочнобазальтовой континентального типа. Следовательно, их можно коррелировать между собой и с тимптоно-желтулинской серией и предположительно рассматривать как верхние части единого мегакомплекса, сформированного в процессе развития тимптоно-станового тектоно-магматического цикла (Рудник, 1973, 1975). С этим предположением согласуются и предварительные определения свинцово-изохронного возраста (Искандерова и др., 1977; Соботович, Рудник и др., 1977): для удско-майской серии — 2500 ± 200 млн. лет (коллек-

пия В. Н. Мошкина), для унгринского комплекса — 2100 ± 130 млн. лет (коллекция В. И. Кицула).

Расчленение неметаморфизованных осадочных комплексов докембрия

Анализ геохимических ассоциаций и изменений относительной подвижности химических элементов позволил выявить в разрезе бассейна р. Котуйкан ряд геохимических типов (рис. 8). Геохимический тип авторы понимают как однородную в геохимическом отношении систему, что выражается в сходных соотношениях колебаний содержания химических элементов. Рассмотрим их более детально.

1. Хемогенный⁴ бурдюкско-ильинский тип. Включает молассоидную грубообломочную и песчаную гематито-кварцевую формации среднего протерозоя. Характерны следующие геохимические ассоциации и ряд подвижности:

$([Ga, Al, Y, Pb] Ti, Sr, Sc, Cr, Zr) V, Be, Zn \rightarrow Ba (Mn, Co [Ni, Cu, Mo])$ ⁵. Обращает на себя внимание аномально высокая подвижность элементов группы железа (Mn, Co, Ni, Cu) и бария, что определяет специфику этого геохимического типа. Все остальные элементы вместе с титаном образуют относительно инертную группу. Выявленные свойства могут быть объяснены, в частности, существенным дефицитом свободного кислорода в атмосфере и гидросфере и сульфатного иона в бассейне седиментации. Подобный дефицит мог препятствовать образованию инертных окисных форм элементов группы железа и способствовать их переводу вместе с барием в легкоподвижные закисные формы.

⁴ Хемогенная геохимическая система — геохимический тип, характеризующийся разделением элементов в ассоциациях по миграционным свойствам (инертности — подвижности) в зоне гипергенеза (Певзнер, Бурков, 1976), где подвижность — соотношение элементов, мигрирующих в форме взвеси и истинных растворов, инертность — способность элементов мигрировать лишь в форме взвеси. Ниже использованы понятия: эндогенная геохимическая система — геохимический тип, характеризующийся четким разделением элементов в ассоциациях по признаку фельсифильности — фемафильности; механогенная геохимическая система — геохимический тип, характеризующийся отсутствием каких-либо закономерностей в распределении элементов в ассоциациях; фельсифильность — свойство элементов повышать, а фемафильность — понижать содержание в ряду базиты — гранитоиды, гомсофильность — стремление элементов к более равномерному распределению в различных образованиях.

⁵ Квадратные скобки объединяют элементы с наиболее сильными положительными корреляциями; круглые — элементы, колебания содержания у которых значимые, но положительные корреляционные связи заметно более слабые; вне скобок — элементы в ассоциациях с наиболее слабыми положительными корреляционными связями. Ассоциации разделяют отрицательные корреляции, которые «слабеют» по мере приближения (в приведенных формулах) элементов одной ассоциации к другой (Певзнер, Бурков, 1976).

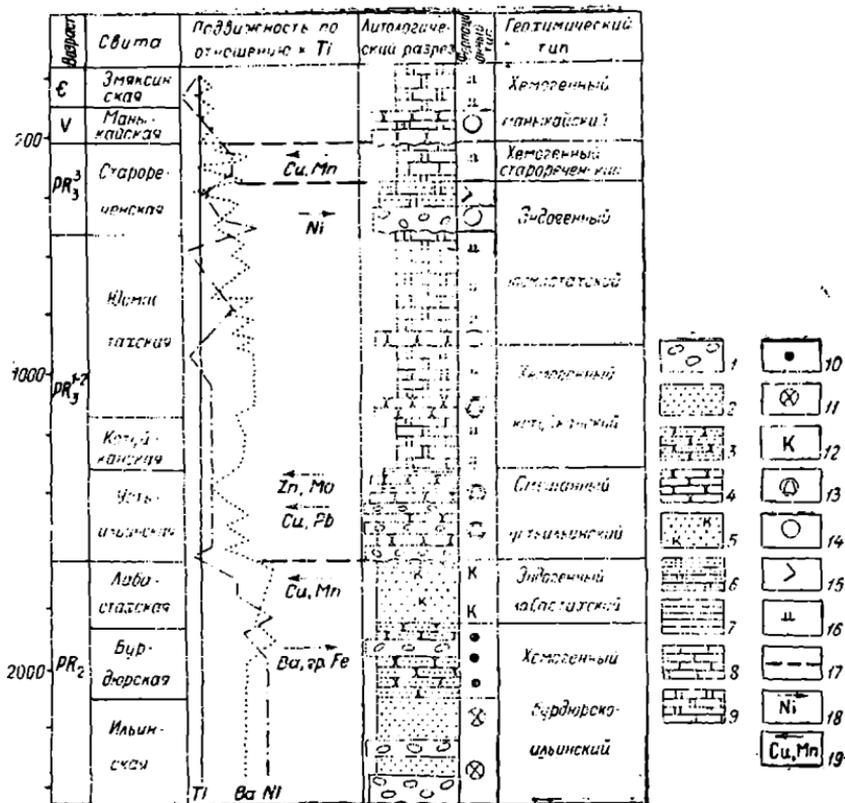


Рис. 8. Опорный геохимический разрез протерозойских осадочных пород в бассейне р. Котуйкан (составили Ю. К. Бурков, Н. О. Малич, В. С. Певзнер).

1—гравелиты и конгломераты; 2—полимиктовые, 3—гематито-кварцевые, 4—кварцевые, 5—каолинизированные песчаники; 6—песчаные доломиты, 7—аргиллиты, 8—известняки, 9—доломиты; 10—песчаная гематито-кварцевая формация, 11—конгломерато-гравелитовая, 12—песчаная каолинито-кварцевая, 13—аргиллитопесчанная с глауконитом, 14—семейство терригенных формаций, 15—сероцветных терригенно-карбонатных и 16—карбонатных; 17—геохимические рубежи; 18—усиление и 19—потеря подвижности элементов

2. Эндогенный лабастахский тип совпадает с песчаной каолинит-кварцевой формацией среднего протерозоя. В ассоциациях характерно преобладание группировки элементов по признаку фемафильности — фельсифильности, свойственному магматическим образованиям: $([Cu, Cr, Mo] Sc, Ni, Mn, Co) Be [Ti, Zr] \rightarrow Zn (V, Ga, Al, Ba [Pb, Sr, Y])$. Это дает основания предполагать, что к формированию пород формации привело не только переотложение продуктов выветривания. Не исключено, что каолинит в породах рассматриваемой формации представляет собой опосредованный продукт еще непо-

нанного эндогенного фактора, например воздействия гидротермальных растворов.

3. Механогенно-эндогенно-хемогенный (смешанный) усть-ильинский тип совпадает с глауконитовой аргиллито-гравелито-песчаной формацией усть-ильинской свиты, залегающей в основании верхнего протерозоя. Судя по ассоциациям и подвижности, геохимическая структура формации отличается свособразным распределением элементов: ([Ga, V] Sc, Be, [Ti, Y, Cr], Al, Co, Ni) Zr, Zn—>Mo, Sr, Ba, Pb, [Mn, Cu]. Разделение элементов в ассоциациях обусловлено как свойствами фемафильности — фельсифильности, так и инертности — подвижности. Поэтому такие фельсифилы, как стронций и свинец, попали в одну ассоциацию с фемафилами — марганцем и медью. Общей для тех и других является высокая подвижность, обычная для зоны гипергенеза. Относительно высокая подвижность бария указывает на низкое содержание сульфатного иона в водах бассейна седиментации. В целом для этой системы свойственны переменная подвижность элементов группы железа (в частности, никеля, ванадия, меди, марганца) и высокая подвижность стронция и свинца. Подобная «геохимическая смесь» могла возникнуть в результате совмещения в пределах бассейна седиментации продуктов химического и механического выветривания с продуктами вулканической деятельности.

4. Хемогенный котуйканский тип совпадает с доломитовой формацией котуйканской свиты, а также с песчаной глауконито-кварцевой и доломитовой формациями юस्ताхской свиты верхнего протерозоя. Геохимические ассоциации и подвижность элементов этого типа: (Zn, Pb, [Ti, Zr, V, Co, Al, Sc, Ga, Mo, Cu, Mn, Ni]) Ba, Be —>Cr, Y, Sr, — вероятно всего, отражают процесс типичного глубокого химического выветривания в пределах области питания. Характерна, кроме резкой потери подвижности цинком и свинцом, переменная подвижность бария, вероятно косвенно свидетельствующая о периодической нехватке в бассейне седиментации сульфатного иона.

5. Эндогенный юस्ताхский тип совпадает с песчаной кварцевой и известково-доломитовой формациями юस्ताхской свиты среднего рифея и с песчано-доломитовой формацией старореченской свиты верхнего рифея. Для этого типа характерны геохимические ассоциации элементов: ([Be, Ti, Sc, Sr] Pb, Ba) Al, Y, Ga—>Zr, V [Mo, Cr] Zn (Mn [Ni, Co, Cu]), сгруппированные по свойствам фемафильности — фельсифильности. Все элементы-фельсифилы объединены в левой части ряда (ассоциации), элементы-фемафилы — в правой. Некоторая «рыхлость» (слабые положительные корреляции) фемафильной группировки отличает лишь известково-доломитовую формацию юस्ताхской свиты и исчезает в верхней части типа, геологически совпадающей с конгломерато-брекчиевой и

песчано-доломитовой формациями старореченской свиты верхнего рифея, где концентрации всех элементов-фемафилов связаны друг с другом более высокими положительными корреляциями. Формирование в образованиях карбонатного состава типичных «магматогенных» ассоциаций элементов можно объяснить только прямым воздействием вулканической деятельности на процесс седиментогенеза.

6. Хемогенный старореченский тип совпадает с карбонатной формацией верхов старореченской свиты верхнего рифея. Ассоциации и подвижность элементов данного типа резко отличаются от предыдущего и представлены следующим образом: $([Ga, V, Al, Y] Zr, Cr, Mn, Ni) Ti, Cu \rightarrow Co [Be, Sc] (Mo, Pb, Ba) Sr$. Геохимическая структура характеризуется слабыми связями между титаном и прочими элементами левой ассоциации и резким обособлением стронция от элементов правой ассоциации. Переменная подвижность бария свидетельствует о периодической нехватке в бассейне седиментации сульфатного иона. Выявленный геохимический тип мог формироваться в результате вовлечения в состав растворов во время образования пород этой формации некоторых подвижных в условиях химического выветривания элементов, в частности стронция, свинца, иногда бария.

7. Хемогенный манькайский тип совпадает с терригенно-карбонатной формацией венда (манькайская свита) и перекрывающей ее пестроцветной карбонатной формацией раннего кембрия (эмяксинская свита). Геохимическую структуру от других пород отличает простота: $([Cr, Ga, V, Zr, Ti, Ni] [Sc, Al] Be [Ba, Mo] Zn) Co$. $\rightarrow Y (Sr, Pb [Mn, Cu])$. Все элементы, за исключением кобальта и иттрия, образуют тесные компактные группы, разделяющие элементы разных ассоциаций по признаку инертности — подвижности. Характерна стабильная низкая подвижность бария, что может свидетельствовать о наличии в бассейне седиментации достаточных количеств сульфатного иона.

Рассмотренные геохимические типы распределены по разрезу закономерно и дают представление о совпадении основных геохимических рубежей с участками перехода от эндогенных к хемогенным системам, что проявляет цикличность геологического процесса. Геохимические рубежи отражают и этапность развития гипергенных геохимических систем в связи с появлением дополнительных порций кислорода и серы в бассейнах седиментации. Анализ рядов подвижности и геохимических ассоциаций в породах средне- и позднепротерозойского возраста приводит к выводу о существовании трех основных рубежей: между средним и поздним протерозоем; внутри позднего рифея; между поздним рифеем и вендом. Эти рубежи прослежены по результатам геохимического изучения геологических формаций низов чехла Сибирской платформы, а также

в Алтае-Саянской области, Средней Азии, Казахстане и на Южном Урале.

З а к л ю ч е н и е

Изложенный материал иллюстрирует возможности использования петрогеохимических и изотопно-геохимических данных как для расчленения и корреляции докембрийских комплексов горных пород, так и для выявления временной последовательности их формирования. Для решения этих задач при изучении глубоко метаморфизованных пород могут быть использованы лишь определенные типы образований. К ним в качестве типоморфных пород в первую очередь относятся плагиоклазовые кристаллические сланцы основного состава первично базитовой природы. Они наиболее устойчивы к процессам анатексиса и палингенеза, позволяют отбраковывать разности, затронутые процессами гранитизации, дают возможность привлекать для интерпретации петрохимических данных результаты физико-химических исследований систем, моделирующих процессы природной дифференциации базальтов. Для изотопно-геохимических исследований кроме основных плагиоклазовых кристаллических сланцев могут применяться также различные мраморы и известняки.

Следует подчеркнуть известную условность использования результатов петрохимического моделирования условий генерации исходной базальтовой магмы и ее дифференциации, так как устанавливаемые таким образом параметры мощности и типа коры являются весьма приближенными. Но тем не менее эти параметры вполне определенно фиксируют существование значимых различий в условиях генерации магмы, что и является главной прикладной задачей в свете проблемы расчленения и корреляции докембрия. Выявление существенных перестроек условий генерации родоначальной магмы, формирующей исследуемые типы metabазальтов, позволяет предполагать и значительные временные перерывы в их образовании, что в свою очередь указывает на наличие между стратиграфическими подразделениями, включающими в свой состав metabазальтоиды разного генезиса, крупных стратиграфических и структурных несогласий.

Данные петрохимических исследований в сочетании с результатами свинцово-изохронных исследований служат основанием для выделения в раннем докембрии трех тектоно-магматических циклов.

1. Верхнеалданский цикл (предположительно древнее 3500 млн. лет), когда формировались толеитовые малоглубинные магмы океанического типа верхнеалданской серии Алданского щита, сутамского комплекса юго-восточной части Алдано-Станового щита, далдынской серии Анабарского кристаллического массива, Верхнемайского поднятия Охотского мас-

сива, канской серии Енисейского кряжа, Нейшрской зоны Земли Эндерби Антарктической платформы.

2. Федоровский цикл (3500—2600 млн. лет), в начале которого, 3400—3000 млн. лет назад, формировались щелочные базальтоидные магмы средних глубин ($p \approx 9$ кбар) континентального типа федоровской серии Алданского щита, верхне-анабарской серии Анабарского кристаллического массива, нижней и средней толщи Охотско-Кухтуйского поднятия Охотского массива и, возможно, Тайгоносского и Омолонского массивов.

3. Тимптоно-становой цикл (2500—1750 млн. лет), в начале которого, 2400—2000 млн. лет назад, формировались как толеитовые, так и щелочные базальтовые магмы больших глубин ($p \approx 15—20$ кбар) преимущественно континентального типа тимптоно-желтулинского комплекса Алданского щита, станового комплекса (по крайней мере в объеме его удско-майской серии), унгринского комплекса центральной части Алданского щита⁶.

Устанавливаемые на основе закономерностей распределения большого круга элементов геохимические рубежи в неметаморфизованных осадочных породах докембрия также могут быть сопоставлены с определенными тектоно-магматическими циклами. Так, для докембрийских платформенных образований Сибири эти рубежи сопоставляются с выделенными в ее чехле Н. С. Маличем (1975) тектоническими циклами, время проявления которых может быть оценено по данным калий-аргонового возраста глауконитов. Эти циклы могут быть выделены под названиями:

1. Котуйканский цикл (1900—1600 млн. лет), в начале которого формировались образования ильинской, бурдюрской, лабастахской, кильгитской, тепторгинской, чадобетской свит.

2. Прианабарский цикл (1600—800 млн. лет), в начале которого формировались породы усть-ильинской, котуйканской, юмахстахской, омахтинской, гонамской, теченской, голоустенской, улуктуйской, качергатской свит.

3. Ангарский цикл (800—620 млн. лет), в начале которого формировались образования ушаковской и старореченской свит, уйской серии и др.

Каждый из названных тектоно-магматических циклов завершался поднятием, отступлением моря, корообразованием и

⁶ Значительные временные перерывы в образовании осадочно-вулканических и вулканических пород выделенных циклов позволяют предполагать возможность существования между ними промежуточных тектоно-магматических циклов, геосинклинальная (в том числе про- и прото-) стадия каждого из которых соответствовала инверсионно-складчатой, а начная с протерозоя, и орогенной стадии предшествовавшего во времени цикла (Рудник, 1973, 1975). При этом площади развития образований этих промежуточных циклов, вероятно, были разобщены с районами формирования пород указанных трех циклов.

проявлением интрузивного магматизма. Эти данные также дают основания предполагать наличие между ними промежуточных циклов, геосинклинальный этап каждого из которых совпадал во времени с инверсионной стедней предыдущего цикла.

Изложенный материал свидетельствует о том, что анализ петрохимических, геохимических и изотопно-геохимических данных не только позволяет существенно уточнить многие дискуссионные положения геологии докембрия, но и открывает перспективы решения ряда дополнительных проблем расчленения, корреляции и периодизации докембрия.

ЛИТЕРАТУРА

- Великославинский С. Д.** Закономерности раннеархейского основного вулканизма центральной части Алданского щита. — Зап. Всесоюз. минер. о-ва, 1976, вып. 1, с. 48—58.
- Великославинский С. Д.** Геохимическая специализация метабазальтовых комплексов центральной части Алданского щита. — Материалы 3-й молодежн. геол. конф. ВСЕГЕИ. Л., 1977, с. 25—92.
- Великославинский С. Д.** Петрология и геохимия кристаллических сланцев основного состава центральной части Алданского щита: Автореф. канд. дис. Л., 1978, с. 25. В надзаг.: Мин-во геологии СССР. ВСЕГЕИ.
- Волобуев М. И., Зыков С. И., Ступникова Н. И., Мясников В. Л.** Геохронология докембрийских гранитоидов юго-западного обрамления Сибирской платформы. — В кн.: Геол. интерпретация данных геохронологии. Иркутск, 1977, с. 33—34.
- Геохронология докембрия Сибирской платформы и ее складчатого обрамления. Л., 1968. 334 с.
- Герлинг Э. К., Искандерова А. Д.** Свинцово-изохронное датирование карбонатных пород и его применение для установления ранних этапов метаморфизма. — В кн.: Актуальные вопросы современной геохронологии. М., 1976, с. 224—231.
- Глуховский М. З.** Некоторые аспекты тектоники и магматизма раннего докембрия на примере Алданского щита. — Геотектоника, 1975, № 2, с. 3—19.
- Грин Д. Х.** Состав базальтовых магм как критерий их возникновения при океаническом вулканизме. — В кн.: Петрология изверженных и метаморфических пород дна океана. М., 1973, с. 242—258.
- Грин Д. Х., Рингвуд А. Е.** Происхождение базальтовых магм. — В кн.: Петрология верхней мантии. М., 1968, с. 132—227.
- Доморацкий Н. А.** Определение первичной природы метаморфических пород по содержанию в них инертных компонентов. — В кн.: Петрография, формации и проблемы петрогенеза: Докл. сов. геол. 22-й сес. МГК, пробл. 16. М., 1964, с. 166—179.
- Искандерова А. Д., Неймарк Л. А., Слуцкий Ю. А.** и др. Новые данные по геохронологии Алданского докембрия. — В кн.: Геол. интерпретация данных геохронологии. Иркутск, 1977, с. 6—7.
- Кастрыкина В. М.** Петрология сутамского метаморфического комплекса: Автореф. канд. дис. М., 1974. 23 с. В надзаг.: МГУ. Геол. ф-т.
- Корольков В. Г., Рудник В. А., Соболев Э. В.** О позднеархейском — раннеархейском возрасте древнейших пород Охотского среднего массива. — ДАН СССР, 1974, т. 219, № 6, с. 1441—1444.
- Максимов Е. П., Угрюмов А. Н.** Геологическое строение центральной части Алданского щита. — В кн.: Геол. и петрология докембрия Алданского щита. М., 1966, с. 51—58.
- Малич Н. С.** Тектоническое развитие чехлы Сибирской платформы. М., 1975. 216 с.

- Мокроусов В. А.** Тектоника нижнего докембрия Алданского щита.— В кн.: Тектоника Сибири. М., 1970, т. 3, с. 150—155.
- Певзнер В. С., Бурков Ю. К.** Система обработки геохимической информации с целью прогноза месторождений полезных ископаемых. Л., 1976.
- Предовский А. А.** Геохимическая реконструкция первичного состава метаморфизованных вулканогенно-осадочных образований докембрия. Апатиты, 1970, 116 с.
- Равич М. Г., Каменев Е. Н.** Кристаллический фундамент Антарктической платформы. М., 1972, 658 с.
- Рудник В. А.** Последовательность геологических событий в докембрии Восточной Сибири по радиологическим данным.— В кн.: Геохронология СССР. Л., 1973, т. 1, с. 228—254.
- Рудник В. А.** Гранитообразование и формирование земной коры в докембрии. Л., 1975, 416 с.
- Рудник В. А., Соботович Э. В.** Свинцово-изотопный метод стратиграфического анализа.— ДАН СССР, 1971, т. 192, № 3, с. 897—900.
- Рудник В. А., Соботович Э. В.** Свинцово-изотопные исследования как основа историко-геологического анализа и генетического расчленения горных пород докембрия.— В кн.: Литология и осадочная геол. докембрия. М., 1973, с. 236—240.
- Рудник В. А., Соботович Э. В., Искандерова А. Д.** Свинцово-позохронные отношения как основа периодизации докембрия.— Изв. АН СССР. Сер. геол., 1970, № 11, с. 44—55.
- Рудник В. А., Соботович Э. В., Терентьев В. М.** Об архейском возрасте древнейших пород Алданского щита.— ДАН СССР, 1969, т. 188, № 4, с. 897—900.
- Соботович Э. В.** Изотопы свинца в геохимии и космохимии. М., 1970, 349 с.
- Соботович Э. В., Искандерова А. Д., Корольков В. Г., Рудник В. А., Великославинский В. Д., Цюнь О. В., Ольховик Ю. А.** Раннеархейский возраст пород Тайгонесского и Омолонского массивов Тихоокеанского подвижного пояса.— В кн.: Геол. интерпретация данных геохронологии. Иркутск, 1977, с. 10—11.
- Соботович Э. В., Каменев Е. Н., Комаристый А. А., Рудник В. А.** Древнейшие породы Антарктиды (Земля Эндерби).— Изв. АН СССР. Сер. геол., 1974, № 11, с. 30—50.
- Соботович Э. В., Комаристый А. А.** К методике изотопного радиосвинцово-позохронного датирования горных пород.— В кн.: Актуальные вопросы современной геохронологии. М., 1976, с. 232—237.
- Соботович Э. В., Рудник В. А., Искандерова А. Д., Комаристый А. А., Ольховик Ю. А., Слуцкий Ю. А., Великославинский С. Д., Дагелайская И. Н., Миронюк Е. П.** Свинцово-позохронный возраст раннедокембрийских кристаллических сланцев Становой складчатой области.— В кн.: Геол. интерпретация данных геохронологии. Иркутск, 1977, с. 14—15.
- Фрумкин И. М.** Стратиграфия и тектоника архея восточной части Алданского щита: Автореф. канд. дис. М., 1971, 32 с. В надзаг.: МГУ. Геол. ф-т.
- Pearce I. A., Cann I. R.** Tectonic setting of basic volcanic rocks, determined using trace elements analyses.— Earth Planet. Sci. Lett., 1973, vol. 19, N 2, p. 290—300.
- Pearce T. H., Gorman B. E., Birkett T. C.** The $TiO_2-K_2O-P_2O_5$ diagram: a method of discriminating between oceanic and nonoceanic basalts.— Earth Planet. Sci. Lett., 1975, vol. 24, N 3, p. 419—426.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Черкасов Р. Ф. К проблемам геологического времени	4
Красилов В. А. Время и стратиграфия	14
Симаков К. В. Методологическое значение концепций времени в стратиграфии и геохронометрии	38
Забродин В. Ю. Временные порядки	58
Преображенский Б. В., Преображенская Т. В. Экостратиграфия и каузальное геологическое время	70
Краснов Е. В. Склерохронология	78
Шульдинер В. И. О возрастном расчленении и периодизации раннего докембрия	92
Рудник В. А., Великославинский С. Д., Верхало-Узкий В. Н., Певзнер В. С., Соботович Э. В. Эволюция геохимических признаков и периодизация докембрия	124

CONTENTS

Preface	3
Cherkason R. Th. On the problems of geological time	4
Krassilov V. A. Time and stratigraphy	14
Simakov K. V. Methodological significance of the time concepts in stratigraphy and geochronometry	38
Zabrodin V. Yu. Temporal patterns	58
Preobrazhensky B. V., Preobrazhenskaya T. V. Ecostratigraphy and the causal geological time	70
Krasnov E. V. Sclerochronology	78
Shuldiner V. I. On the age division and periodicity in the Early Precambrian	92
Rudnik V. A., Velikoslavinsky S. D., Verkhalo-Uzky V. N., Pevzner V. S., Sobotovich E. V. Evolution of geochemical characteristics and periodicity in the Precambrian	124