

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И МЕТОДЫ
СТРАТИГРАФИИ**

Учебно-методическое пособие для вузов

Составители:

Г. В. Холмовой,
В. Ю. Ратников,
В. Г. Шпуль

Издательско-полиграфический центр
Воронежского государственного университета
2008

Утверждено научно-методическим советом геологического факультета
22 мая 2008 г., протокол № 3

Рецензент зав. кафедрой исторической геологии и палеонтологии ВГУ
проф. А. Д. Савко

Учебно-методическое пособие подготовлено на кафедре исторической геологии и палеонтологии геологического факультета Воронежского государственного университета.

Рекомендуется для студентов III курса дневного отделения геологического факультета.

Для специальности 020301 – Геология

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
1. История стратиграфии	8
1.1. Предыстория стратиграфии – период первоначального накопления геологических знаний (до середины XVIII в.).....	8
1.2. Становление геологии, возникновение стратиграфии и ранний период её развития (вторая половина XVIII в.)	8
1.3. Возникновение и развитие биостратиграфии (первая половина XIX в. – додарвиновский период)	10
1.4. Развитие стратиграфии в период победы эволюционизма. Дарвиновский этап (вторая половина XIX в.)	12
1.5. Новейший этап развития стратиграфии (XX в.)	13
1.6. Координация стратиграфических исследований в России в настоящее время	14
2. Время в геологии и стратиграфии	16
3. Основные принципы (законы) стратиграфии	21
3.1. Принцип актуализма (принцип Ч. Лайеля)	22
3.2. Принцип необратимости геологической и биологической эволюции.....	24
3.3. Принцип объективной реальности и неповторимости стратиграфических подразделений (принцип Л. Л. Халфина – Д. Л. Степанова).....	24
3.4. Принцип неполноты стратиграфической и палеонтологической летописи (принцип Ч. Лайеля – Ч. Дарвина)	25
3.5. Принцип фациальной дифференциации одновозрастных отложений (принцип А. Грессли – Э. Реневье)	26
3.6. Принцип возрастной миграции граничных поверхностей супракристалльных геологических тел (закон Н. А. Головкинского – И. Вальтера).....	27
3.7. Принцип периодичности (ритмичности, цикличности и этапности) явлений и процессов	29
3.8. Принцип хронологической взаимозаменяемости признаков (принцип С. В. Мейена).....	29
3.9. Принцип последовательности образования геологических тел, или принцип суперпозиции (принцип Н. Стенона).....	31
3.10. Принцип гомотаксальности (принцип В. Смита – Т. Гексли)	32
3.11. Принцип биостратиграфического расчленения и корреляции (принцип В. Смита).....	33
3.12. Другие принципы	33
4. Методы стратиграфии	34
4.1. Общенаучные методы.....	34
4.2. Частные научные методы.....	36
4.3. Группа геологических (непалеонтологических методов).....	38

4.3.1. Тектоностратиграфические (диастрофические) методы	38
4.3.2. Метод сопоставления на основе стратиграфических перерывов.....	43
4.3.3. Метод сопоставления по сходству порядка напластования.....	49
4.3.4. Метод сопоставления на основе стратиграфической непрерывности пластов (метод маркирующих горизонтов)	49
4.3.5. Сравнительно-литологический метод	51
4.3.6. Сравнительно-минералогический метод.....	53
4.3.7. Сравнительно-геохимический метод.....	54
4.3.8. Сравнительно-фациальный метод.....	57
4.3.9. Метод изучения цикличности (ритмостратиграфия).....	58
4.3.10. Палеоклиматический метод (климатостратиграфия).....	63
4.4. Группа геофизических методов.....	67
4.4.1. Каротажные методы	67
4.4.2. Палеомагнитный метод.....	69
4.4.3. Сейсмическая стратиграфия (сейсмостратиграфия).....	75
4.4.4. Секвентная стратиграфия.....	77
4.4.5. Методы изотопной хронометрии	81
4.4.6. Метод треков	84
4.4.7. Термолюминесцентный метод	84
4.4.8. Аминокислотный метод	85
4.5. Событийная стратиграфия	85
4.6. Биостратиграфические (палеонтологические) методы.....	88
4.6.1. Адаптациогенез и основные направления эволюционного процесса	89
4.6.2. Закономерности эволюционного процесса	91
4.6.3. Проблема неограниченности эволюционного процесса.....	93
4.6.4. Направленность эволюционного процесса	94
4.6.5. Неравномерность эволюционного процесса.....	97
4.6.6. Периодичность и этапность в развитии организмов.....	98
4.6.7. Распространение ископаемых остатков организмов в разрезе.....	100
4.6.8. Значение отдельных групп ископаемых организмов для стратиграфии	101
4.6.9. Биостратиграфическое расчленение разрезов	106
4.6.10. Биостратиграфическая корреляция.....	111
4.6.11. Биостратиграфическое датирование.....	123
4.6.12. Случаи, осложняющие применение палеонтологического метода в стратиграфии	126
5. Международный стратиграфический справочник и Стратиграфический кодекс России в сравнении	139
6. Опорные и типовые разрезы. Задачи и правила изучения и описания ...	145
Заключение	148
Литература.....	149

ВВЕДЕНИЕ

Учебный план дисциплины «Основы стратиграфии», читаемой для студентов 3 курса геологического факультета, предполагает их подготовленность по курсам общей, исторической и структурной геологии, палеонтологии, а также по общеобразовательным дисциплинам.

Цель курса – введение в основные направления науки стратиграфии; усвоение понятий, принципов и методов этой науки; знакомство с особенностями выделения и обоснования стратиграфических подразделений, их классификацией, а также правилами составления местных и региональных стратиграфических схем.

Сравнительно краткий курс «Основы стратиграфии» будет продолжен на 4-м году обучения у специалистов и на 5-м – у магистров в виде спецкурсов «Методы стратиграфических исследований» и «Литостратиграфия». Авторы учебного пособия предусматривают необходимый материал для этих спецкурсов в дополнительных главах.

Из приведенной ниже литературы авторами заимствованы в большом количестве формулировки определений, правила, а также примеры из геологической практики, изменить или заменить которые невозможно или крайне нежелательно. Преследуя чисто учебные цели, авторы не всегда сопровождают эти заимствования кавычками и ссылками, заранее соглашаясь с возможными упреками. Речь идет о стратиграфических кодексах и двух монографиях – Д. Л. Степанова, М. С. Месежникова (1979) и «Практическая стратиграфия» (1984), которые стали библиографической редкостью, не утратив до сих пор своего значения.

Главы 1, 2, 5, разделы 4.3, 4.4 и 4.5 написаны Г. В. Холмовым; раздел 4.6 «Биостратиграфические (палеонтологические) методы» – В. Ю. Ратниковым; остальные главы и разделы подготовлены коллективно.

Значение стратиграфии. Стратиграфия – это основа геологии, её фундамент; по выражению академика Б. С. Соколова (1993), именно стратиграфия «...сделала геологию наукой исторической, т. е. наукой в строгом смысле». Со стратиграфической разработки начинается геологическое изучение любого региона. На стратиграфической основе проводится съемка, поиски и разведка полезных ископаемых, тектонические, литолого-фациальные и другие исследования. Без кондиционной стратиграфической основы невозможно геологическое картирование. Стратиграфические знания вызывают большой познавательный интерес, имеют общетеоретическое и мировоззренческое значение.

Кроме того, наука стратиграфия выполняет функцию международного геологического языка, является средством общения геологов разных стран, поскольку основные геологические события имеют глобальное значение.

Определение стратиграфии. Название происходит от слов *stratum* (лат.) – настил, слой и *grapho* (греч.) – пишу. Существует несколько определений этой науки, близких по смыслу.

Б. М. Келлер (БСЭ, 1975, с. 552): «Стратиграфия... раздел геологии, изучающий последовательность формирования геологических тел и их первоначальные пространственные взаимоотношения».

А. И. Жамойда (1989): «Стратиграфия – это раздел геологии, изучающий последовательность формирования комплексов горных пород в земной коре, первичные их соотношения в пространстве и периодизацию геологической истории». Отмечается, что стратиграфия учитывает не только временные отношения геологических тел, но и их характеристику и положение в разрезе земной коры.

Д. Л. Степанов, М. С. Месежников (1979): «Стратиграфия – геологическая дисциплина, изучающая временные и пространственные соотношения нормально пластующихся толщ горных пород земной коры».

Предметом дискуссии при создании Стратиграфического кодекса (1992) был вопрос о включении интрузивных и высокометаморфизованных геологических тел в сферу изучения стратиграфии. Такую идею поддерживают 2/3 отечественных геологов, считающих, что эти тела несут геохронологическую нагрузку, хоть и не всегда подчиняются принципу суперпозиции (залегает выше – значит моложе). Да и зарубежные руководства по стратиграфии принимают эти тела, выделяя их в литостратиграфические подразделения особого рода. В России изучение геологических тел регламентируется Петрографическим кодексом (1995).

Однако основным объектом изучения стратиграфии является не вся земная кора, а только нормально пластующиеся толщи, геологические тела, сложенные осадочными, вулканогенными и метаморфическими породами. При этом изучается не состав и свойства горных пород, что является предметом других наук (литология, петрография, геофизика), а пространственно-временные соотношения геологических тел; реконструируется система координации геологических событий в пространстве и времени.

Под *геологическими телами* принято понимать такие природные объекты, как толщи пластующихся горных пород, интрузивные массивы, залежи полезных ископаемых (рудные тела) и т. д.

Стратифицированные, или пластующиеся, геологические тела называют *стратиграфическими подразделениями* (стратонами). Это совокупность слоев, объединённых единством времени и условий осадконакопления.

Слой – это элементарная единица (квант) геологического пространства-времени, единство акта осадконакопления, отделенного двумя границами-сигналами, различимыми в отношении «раньше – позже» (древнее – моложе).

Стратиграфическая граница – сигнал, несущий информацию о координации множества событий, составляющих геологическое пространство-время.

Предметом стратиграфии являются стратиграфические границы и ограничиваемые ими интервалы нормальной последовательности слоев – стратиграфические подразделения.

Главная цель, или конечная задача стратиграфии, – разработка хронологической шкалы для датирования геологических событий и естественной периодизации геологической истории. Она достигается решением трех частных задач: 1) расчленение разрезов с выделением стратиграфических подразделений и созданием местных и региональных стратиграфических схем; 2) межрегиональная корреляция выделенных стратонов; 3) корреляция с общей стратиграфической шкалой, детализация и уточнение последней.

Таким образом, вполне определенные задачи стратиграфии, объект и предмет изучения этой науки позволяют рассматривать её как особую, фундаментальную отрасль геологии, являющуюся базисной для других наук.

Следует заметить, что всё отмеченное выше характеризует основные и самые общие разделы стратиграфии, которые поэтому и называются *общей стратиграфией*. Достаточно самостоятельно существует также область обоснования региональных стратиграфических шкал, называемая *региональной стратиграфией*. И, наконец, употребляются наименования отдельных направлений стратиграфии, использующих тот или иной метод исследования: биостратиграфия (палеонтологический метод), литостратиграфия (литологические методы стратиграфии), магнитостратиграфия, секвентная стратиграфия и т. д. Содержание этих направлений будет раскрыто ниже.

1. ИСТОРИЯ СТРАТИГРАФИИ

По этому вопросу существует обширная литература: прежде всего – История геологии (1973), двухтомная монография Г. П. Леонова (1973), трехтомная монография К. В. Симакова (2004), глава 1 в учебнике Д. Л. Степанова и М. С. Месежникова (1979), а также занимательно написанная монография С. И. Романовского (2005). Все историографы отмечают, что наука стратиграфия зародилась почти одновременно с геологией, и в её развитии выделяют пять этапов.

1.1. Предыстория стратиграфии – период первоначального накопления геологических знаний (до середины XVIII в.)

Это было время от «ничего» до сохранившихся высказываний отдельных мыслителей об органической природе окаменелостей и водном происхождении вмещающих осадков (Пифагор, Аристотель, Страбон, Авиценна, Бируни, Леонардо да Винчи, Декарт и др.). На протяжении этого длительного периода не было преемственности в передаче знаний и у каждого исследователя открытия рождались как бы с чистого листа. Особенно продуктивным оказался XVIII в. благодаря работам Н. Стенона.

Николаус Стенон (в исходной транскрипции Нильс Стенсен) (1638–1687) – датский медик, занимался геологическими наблюдениями в окрестностях Тосканы в Северной Италии и в 1669 г. опубликовал автореферат диссертации под названием «О твердом, естественно содержащемся в твердом». В ней он описал процесс образования осадочных слоёв и впервые разделил их на молодые, средние и древние. Последние могут быть приподняты выше и залегать наклонно. Были сформулированы основные принципы стратиграфии: 1) последовательности напластования – каждый слой моложе подстилающего и древнее перекрывающего; 2) первичной горизонтальности слоёв и 3) первичной непрерывности слоёв, отложившихся в водной среде и исчезающих только в результате выклинивания по периферии бассейна. Всё это явилось основанием считать Н. Стенона основоположником науки стратиграфии. Его работа впоследствии переиздавалась девять раз, в том числе в 1957 г. в СССР на русском языке (Стенон, 1957). На его могилу в 1883 г. участники Международного геологического конгресса возложили плиту с надписью «Превосходный муж среди геологов».

1.2. Становление геологии, возникновение стратиграфии и ранний период её развития (вторая половина XVIII в.)

Этот период считают временем умозрительных работ без великих открытий.

Великий французский ученый Ж. Л. Бюффон (1707–1788) в 36-томной

«Естественной истории» в томе 1 «Теория Земли» изложил свои представления о геологической истории Земли. По его расчетам и экспериментам возраст Земли составлял 75 000 лет. В её истории выделялось семь эпох, которые постепенно сменяли друг друга. Одним из первых Бюффон считал органические остатки показателем возраста вмещающих отложений.

Великий русский ученый М. В. Ломоносов (1711–1765) известен в геологии двумя работами: 1) «О слоях земных», в которой описывалось происхождение слоев в результате осаждения в водных бассейнах, а также высказывалось утверждение о большой длительности геологического времени, намного превышающего историю человечества; 2) «Слово о рождении металлов от трясения Земли...».

Дж. Ардуино (1714–1795), профессор минералогии и металлургии в Венеции, продолжая работы Стенона, разделил разрез Северной Италии на четыре комплекса горных пород: 1) первичные – кристаллические породы, интенсивно дислоцированные, без окаменелостей; 2) вторичные – мраморы с органическими остатками; 3) третичные – слабо консолидированные слоистые породы с многочисленными остатками животных и растений; 4) рыхлые отложения террас и пойм современных рек, которые позднее получили название «четвертичных» и дали название четвертичной системе. Выделенные комплексы соответствуют современным нижнему палеозою, мезозою + палеоцену, эоцену + плиоцену и квартеру. Кроме того, выделялась еще группа вулканических пород.

Немецкая школа геологов развивалась на изучении герцинид Центральной Германии и разработке региональной стратиграфической схемы, которая впоследствии стала универсальной стратиграфической шкалой.

И. Г. Леман (1700–1767), член Берлинской, а затем Петербургской академии наук, в 1756 г. опубликовал работу «Опыт восстановления истории флёцевых гор». В ней он выделяет две группы горных пород: 1) жильные, существующие «от сотворения мира», и 2) «флёцевые» (слоистые), образовавшиеся в водной среде при Всемирном потопе. Кроме этого, он выделяет группу рыхлых пород, образовавшихся после потопа в результате местных явлений – землетрясений, вулканических извержений, наводнений и т. д. Флёцевые породы гор Гарца он подразделил на 30 формаций. Именно Леману мы обязаны появлением термина «формация» в геологии.

Г. Х. Фюксель (1722–1773) в 1762 г. опубликовал работу «История Земли и моря, установленная по истории Тюрингских гор». В ней он также использовал термин «формация» и впервые применил систему соподчинения стратиграфических единиц разного ранга (серии и статумены), которым соответствуют одноимённые хронологические единицы (секулы и луструмы). Такой подход к стратиграфическим подразделениям сохранился до настоящего времени. Под «серией» подразумевался комплекс отложений, возникших в одинаковых условиях. Выделенные им девять серий в триасе Тюрингии отличались не только литологическими особенностями, но и содержа-

щимися в них органическими остатками. К работе была приложена впервые составленная геологическая карта.

А. Г. Вернер (1749–1817), профессор Фрейбургской горной академии, был чрезвычайно популярен у современников и является создателем научной школы непунистов. Он считал, что большинство горных пород формировалось в результате осаждения в море. Также он выделял четыре группы пород: первозданные, переходные, флэцевые и намывные, формирование которых происходило в условиях смены эпох потопов и воздыманий, считал, что литологически сходные породы из разных разрезов являются одновозрастными. Выделенным стратиграфическим подразделениям конкретного региона придавал универсальное значение, объясняя последовательность их напластования обусловленной общим изменением состава вод Мирового океана.

Дж. Геттон (1726–1797), английский натуралист, основатель школы плутонистов, считал ведущим пороодообразующим процессом магматический. Отмечал колоссальную продолжительность геологической истории Земли.

1.3. Возникновение и развитие биостратиграфии (первая половина XIX в. – додарвиновский период)

Если раньше стратиграфическое расчленение и корреляция разрезов производились по литологическим признакам, то на рубеже XVIII–XIX вв. начал использоваться палеонтологический метод. Его появление связывают с именами англичанина В. Смита и французского палеонтолога Ж. Кювье, хотя ранее об этом уже докладывал Ж. Л. Жиро-Сулави. В эти же годы появилась первая целостная теория эволюции Ж. Б. Ламарка (1744–1829).

Аббат Ж. Л. Жиро-Сулави (1750–1813) ещё в 1779 г. на заседании Королевской академии наук прочитал доклад «Естественная история Южной Франции». Слои известняков с фауной он стратифицировал на следующие эпохи: 1) царство моллюсков вымерших; 2) царство моллюсков вымерших и ныне живущих; 3) царство моллюсков ныне живущих; 4) царство растений и рыб, известных в наши дни; 5) окаменелые деревья, галечник, кости ископаемых животных. Хронологическая последовательность этих эпох согласуется с последовательностью залегания и относительным возрастом соответствующих слоев, что получило наименование палеонтологической сукцессии.

В. Смит (1769–1839), английский инженер-изыскатель, работая на копях Сомерсетского угольного бассейна, обследовал юго-восток Англии от г. Бата до Ньюкасла, т. е. более 900 км, обратил внимание на природную закономерность в расположении органических остатков среди определённых слоёв и в 1799 г. составил таблицу с фауной юры и нижнего мела. С ее публикации в 1815 г. исчисляется выделение принципа биостратиграфического расчленения (слои, содержащие остатки сходных фаун и флор, являются одновозрастными), а также

появление термина «стратиграфия». В. Смит принадлежит также понятие «руководящие формы» среди органических остатков. На составленной им первой геологической карте было изображено 40 формаций, выделенных впервые. За создание биостратиграфического метода он был награжден первой Волластонской медалью Британской академии наук.

Французские исследователи палеонтолог Ж. Кювье (1769–1832) и геолог А. Броньяр (1770–1847) в те же годы использовали палеонтологический метод для расчленения осадочных отложений окрестностей Парижа, в ряде вопросов продвинувшись дальше В. Смита. В частности они использовали палеонтологический метод не только для определения возраста, но и для объяснения фациальной и палеогеографической обстановки. Однако, выступая как основоположник катастрофизма, Ж. Кювье несколько скомпрометировал себя перед потомками, что явилось причиной первенствования В. Смита в стратиграфии, но не в палеонтологии.

В противоположность катастрофизму Дж. Геттон и Дж. Плейфер выдвинули принцип униформизма, а несколько позднее Ч. Ляйель – принцип актуализма.

Появление палеонтологического метода вызвало бурный рост стратиграфических исследований, что привело к созданию общей стратиграфической шкалы фанерозоя на основе региональной стратиграфической схемы Западной Европы. В короткое время, называемое «героической эпохой», были выделены все основные геологические системы: юрская – в 1795 г., меловая и каменноугольная – в 1822 г., четвертичная – в 1829 г., третичная – в 1833 г., триасовая – в 1834 г., силурийская – в 1835 г., кембрийская – в 1836 г., палеозойская эратема – в 1838 г., девонская система – в 1839 г., мезозойская и кайнозойская эратемы – в 1840 г., пермская система – в 1841 г.; лишь ордовикская система была выделена значительно позже – в 1879 г. Некоторые из систем первоначально выделялись как формации и затем определялись как геологические системы. Успехи стратиграфии во многом зависели от работ палеонтологов.

А. д'Орбиньи (1802–1857) в монографии «Палеонтология Франции» (1843) вводит понятия «ярус» и «зона» в составе геологической системы. Под ярусом он понимал временное состояние природы, подобное современному, со строго определенным комплексом организмов, сотворенное богом и вымирающее в результате катастрофы. В разрезах юры и мела Франции выделялось 27 таких ярусов. Зоной он называл хронологическое подразделение с определенным ископаемым видом, выбранным из числа встречающихся, со стратиграфическим интервалом яруса или его части.

А. Оппель (1831–1865) уточняет термин «зона» до современного его понимания. Это слои с определенными видами организмов, постоянными для них, как наиболее дробные и основные стратиграфические единицы, из которых складывается ярус.

Таким образом, в додарвиновский период благодаря преимуществам палеонтологического метода были заложены основы хроностратиграфии и выделены геологические системы.

1.4. Развитие стратиграфии в период победы эволюционизма. Дарвиновский этап (вторая половина XIX в.)

В 1859 г. появилась работа Ч. Дарвина «Происхождение видов», которая обозначила эпоху эволюционного учения в биологии и других науках о Земле. Выявление филогенеза отдельных групп организмов неизмеримо расширило возможности палеонтологического метода в стратиграфии. Также большое значение имеет его учение о неполноте геологической летописи и едином центре возникновения видов.

Учение Дарвина получило развитие в работах многих известных палеонтологов: Ф. Гильгендорфа, изучившего планорбисы миоцена Южной Германии, М. Неймара, описавшего ряды палюдин неогена Славонии, В. Ваагена, установившего эволюционные ряды юрских аммонитов и др. В России последователями Дарвина были известные ученые-палеонтологи В. О. Ковалевский, А. П. Карпинский, С. Н. Никитин, Ф. Н. Чернышов и др.

Е. Реневье в 1889 г., развивая идеи Гресли, обосновал учение о фациях, в основе которого была разновозрастность сравниваемых отложений. Известен он также как автор первого варианта международной хроностратиграфической шкалы, представленной им на V сессии Международного геологического конгресса в Париже.

Н. А. Головкинским в 1868 г. была обоснована разновозрастность поверхностей слоёв, или принцип миграции граничных поверхностей.

А. Рюто (1883) создал концепцию осадочных циклов и показал возможность её использования для целей стратиграфии.

В 1882 г. в России был создан Геологический комитет, задачей которого было планомерное изучение недр России и составление общей геологической карты.

К концу XIX в. отчетливо определилась необходимость межгосударственной кооперации геологов для создания международной геологической шкалы.

1-я сессия Международного геологического конгресса (МГК) собралась в 1878 г. в Париже. Основным его решением было создание комиссии по унификации стратиграфической и геохронологической терминологии.

2-я сессия МГК (Болонья, 1881) утвердила рангово-соподчиненные подразделения: период – система, эпоха – отдел, век – ярус, а также генетическое понимание термина «формация». Такая стратиграфическая классификация, в которой стратоны отражали естественные этапы геологической истории и имели комплексное обоснование, получила наименование «европейской».

Несколько позже работой американского стратиграфа Г. С. Вильямса 1894 г. обозначилось второе направление стратиграфии, получившее наименование «американской», или «множественной». В ней утверждалось о несоответствии изохронных границ глобальных подразделений общей стратиграфической шкалы, которые отражают эволюцию органического мира, и местных шкал, в которых границы диахронны и отражают последовательности напластования. В этом варианте шкалы формаций в определённом возрастном интервале может быть столько, сколько можно выделить. Спор между этими двумя концепциями продолжается до сих пор.

До конца XIX в. состоялось восемь сессий МГК.

1.5. Новейший этап развития стратиграфии (XX в.)

Начало XX в. ознаменовалось рядом крупных открытий в естествознании, которые нашли отражение и в стратиграфии.

Для разработки местных стратиграфических схем стал широко применяться литолого-стратиграфический метод, использующий последние достижения литологии, учения о фациях, геохимии и геофизики.

Вновь стал популярен тектоно-стратиграфический метод, благодаря работам Т. Ч. Чемберлена с его концепцией диастрофизма, Г. Штилле с его канонем орогенических фаз, работам М. А. Усова и других геологов.

Получил дальнейшее развитие и применение в стратиграфии ритмо-стратиграфический метод расчленения и корреляции, основанный на изучении цикличности осадконакопления, тектонической и климатической.

Появились новые геофизические методы расчленения и корреляции, а также определения абсолютного возраста.

Все эти непалеонтологические методы служили комплексному обоснованию этапности геологической истории и выделяемых стратиграфических подразделений. В Советском Союзе и затем в России концепция комплексного обоснования стратонивов нашла отражение в Стратиграфических кодексах СССР (1977), России (1992, 2006) и в Дополнении к Стратиграфическому кодексу России (2000).

Биостратиграфический метод в XX в., несмотря на кризисные тенденции в эволюционном учении, продолжал совершенствоваться. В частности палеонтология использовала достижения генетики, учение о популяции как элементарной эволюционной единице и ряд других открытий. Совершенствуются методы и техника палеонтологических исследований. Применение оптической и электронной микроскопии позволило вовлечь в изучение новые группы микроорганизмов: наннопланктон, фораминиферы, остракоды, конодонты и др. Новые методы мацерации микрофоссилий позволили охарактеризовать многие прежде немые толщи, стратифицировать до сих пор не расчленённый верхний протерозой. Спориво-пыльцевой анализ особенно расширил сферу применения биостратиграфических методов, показав воз-

возможность использования для стратиграфических целей палеогеографического анализа, а также возможность корреляции разнофациальных толщ.

Для стратиграфических целей стали изучать вулканические пеплы, появилась отрасль стратиграфии, называемая тефростратиграфия.

С выходом геологии в океан стратиграфия становится глобальной и очень детальной. Появилась секвентная стратиграфия, о которой будем говорить позже.

Усилились международные связи, что проявилось в создании Международной комиссии по стратиграфии, а также Международной программы геологической корреляции при ЮНЕСКО.

В 1978 г. в СССР был опубликован Международный стратиграфический справочник под редакцией Х. Д. Хедберга, а в 1994 г. вышло в свет его второе издание под редакцией А. Сальвадора, которое в сокращенном варианте было переиздано на русском языке в 2002 г.

В последние годы стало развиваться новое направление, называемое событийной стратиграфией, которое использует для корреляции кратковременные геологические явления или события, запечатленные в признаках горных пород.

Таким образом, в XX в. стратиграфия обогатилась новыми методами исследований, стала более детальной и точной.

1.6. Координация стратиграфических исследований в России в настоящее время

Высшим органом, регламентирующим все стратиграфические работы в стране, является Межведомственный стратиграфический комитет (МСК), учрежденный в 1953 г. и прикрепленный к Всероссийскому геологическому институту (ВСЕГЕИ) – СПб, ВО, Средний проспект, 74. Его почетный председатель – чл.-корр. РАН А. И. Жамойда. Печатный орган – «Постановления МСК». В структуре МСК – бюро, комиссии по докембрию и отдельным системам фанерозоя, предметные комиссии, региональные межведомственные стратиграфические комиссии (РМСК).

Региональная межведомственная стратиграфическая комиссия по центру и югу Русской платформы – одна из них. Располагается она в Москве в ГПП «Аэрогеология». Её основатель и председатель – Сергей Михайлович Шик. Печатный орган – «Бюллетень РМСК». Состоит из бюро и нескольких рабочих групп, организованных по геологическим системам и методам исследования.

Под эгидой МСК были опубликованы все основные стратиграфические труды, в том числе многотомный «Стратиграфический словарь СССР», по-системный сериал «Стратиграфия СССР», три издания Стратиграфического кодекса (1977, 1992, 2006).

В системе Российской академии наук (РАН) функционирует комитет по изучению отдельных геологических периодов (Девонская комиссия, Па-

леогеновая комиссия и т. д.). Основное периодическое издание – журнал «Стратиграфия. Геологическая корреляция», основателем и главным редактором которого был академик Борис Сергеевич Соколов. Это ему принадлежит крылатая фраза: научный уровень стратиграфических исследований – самый объективный показатель геологической культуры страны, культуры подхода к освоению минеральных ресурсов.

Комиссия по изучению четвертичного периода РАН выпускает отдельный Бюллетень. МСК и комиссии РАН совместно с административными органами организуют проведение в стране международных и всероссийских научных мероприятий.

2. ВРЕМЯ В ГЕОЛОГИИ И СТРАТИГРАФИИ

Кроме бытового понимания времени, существует его научное определение, согласно которому время бывает философским, физическим, биологическим, геологическим и т. д.

Во всех отношениях время, на первый взгляд, – очень простое понятие, является чрезвычайно сложным и труднопонимаемым. Древняя мудрость гласит: «Нет ничего в мире замечательнее, сложнее и непобедимее времени». Один из величайших философов Аристотель писал, что среди неизвестного в окружающей нас природе самым неизвестным является время, ибо никто не знает, что такое время и как им управлять. Хронос, бог времени в древнегреческой религии, был самым всемогущим из богов, беспощадным и всепоглощающим.

Ещё в античную эпоху наметились два понимания природы времени: *идеалистическое* и *материалистическое*.

В идеалистическом понимании времени в свою очередь определились два подхода. В *субъективно-идеалистическом* время рассматривается как продукт человеческого ума, абстракт отношений между последовательными состояниями сознания (Д. Беркли, И. Кант, Г. Спенсер, Э. Мах и др.). В *объективно-идеалистическом* подходе время возникло в связи с появлением небесных светил, созданных богом (Платон, Августин, Спиноза, Гегель).

Материалистическое понимание времени выражено в работах Дж. Бруно, П. Гассенди, И. Ньютона, Д. Дидро, И. Гардера, Л. Фейербаха, Ф. Энгельса. В них в свою очередь выделяется три концепции.

Субстанциональная концепция вытекает из взглядов Платона и связывается с именем И. Ньютона, который утверждал, что время «само по себе и по своей сущности без всякого отношения к чему-либо внешнему протекает равномерно и иначе называется длительностью». То есть время никак не связано ни с пространством, ни с какими-либо процессами, а являетсяместилищем событий.

Причинно-следственная (реляционная) концепция времени (Г. Лейбниц, Ф. Энгельс, А. Эйнштейн), принятая материалистической диалектикой, стала господствующей в XX в. В соответствии с ней время – это порядок следования событий, причем внутренние и внешние воздействия тел определяют длительность отдельного явления в ряду. Эта концепция подтверждается известной теорией относительности Эйнштейна, которая в связи с малыми скоростями движения геологических тел нами не рассматривается. С этой точки зрения пространство и время являются необходимыми объективными свойствами любого материального образования, т. е. формами существования материи.

Реляционно-генетическая концепция времени, предлагаемая К. В. Симановым (1994), исходит из работ Н. Стенона (1957) и В. И. Вернадского (1988), которые имеют непосредственное отношение к геологическому вре-

мени, называемому также палеобиосферным (Симаков, 2004) или планетарным (Гладенков, 2004). Особенностью этой концепции является то, что время рассматривается не как внешний параметр, а как инвариант явлений реального мира. Временные свойства – анизотропность и циклически необратимая структура.

К. В. Симаков (1994, 2005) предлагает различать время динамическое и статическое. Динамическое время – это инвариант текущих процессов; время, непосредственно воспринимаемое. Статическое время – материализованная среда прошедших процессов, которые особенно важны для геологии.

В практике геолога время является главным объектом изучения, обычной повседневностью, и потому мы часто не задумываемся о поразительном величии и философской сложности времени, хотя говорим о «феномене времени» или о его непостижимой сущности.

Наукам о Земле принадлежит ведущая роль в осмыслении общей проблемы времени исходя из понимания геологического времени, что следует из работ В. И. Вернадского, Г. Штилле, Л. С. Берга, С. Бубнова, Б. Л. Личкова, С. В. Горака, Ю. А. Косыгина, И. В. Крутя, К. В. Симакова и др.

Поскольку время тесно связано с понятием развития и является его мерой, то геологическое время – это длительность развития материальных образований геологической среды, или конкретнее – стратиграфических подразделений. Мы называем время геологическим из-за специфики его фиксации по геологическим событиям. Стратиграфические подразделения проходят определенные стадии развития, исчезают, сменяются другими, т. е. являются историческими (временными) категориями. Их характеризует определенная разновозрастность, последовательность и длительность, из чего следует индивидуальность, необратимость и дискретность стратонов. Изучение геологического времени начинается с установления соотношения событий (раньше – позже, древнее – моложе) и заканчивается определением продолжительности и положения в современной геохронологической шкале.

Геологическое время диалектически объединяет две характеристики: 1) топологическую, или качественную и 2) метрическую, или количественную (Ю. А. Косыгин, В. А. Соловьев, В. А. Зубаков и др.).

Топологическая характеристика заключается в установлении порядка следования событий, возраста геологических явлений. Особенностью топологии геологического времени является относительная неодновозрастность наблюдаемых реперов времени (фаун, слоёв), что следует из медленной скорости распространения сигналов в геологических системах. В самом деле, скорость, с которой развивается трансгрессия или происходит расселение фауны, несравнимо ниже скорости света. Вторая особенность топологии геологического времени – это его дискретность, вытекающая из ритмичности, свойственной всем геологическим процессам.

Метрическая характеристика – это длительность явлений, или, по В. И. Вернадскому, дление. Она позволяет судить не только о том, что мо-

ложе и что древнее, но и насколько моложе. При этом измерение времени производится в современных астрономических единицах – годах, или времени обращения Земли вокруг Солнца. В некоторых случаях используются поправки на более быстрое обращение Земли в прошлом.

Отсюда в стратиграфии геологическое время определяется как длительность существования стратиграфических подразделений и соотношение каждого из них с предшествующим и последующим.

Как измерить геологическое время? Такой мерой могут быть результаты различных природных процессов, запечатлённые в осадках, принадлежащие разным сферам живой и неживой природы (осадконакопление, метаморфизм, эрозия, эволюция органического мира, химические реакции и т. д.). Для каждого типа процессов может быть предложена своя система координат или своя система измерения. Но при этом очень важен выбор наилучшей, привилегированной шкалы, универсальной для всей геологической истории земной коры. Такая шкала должна быть достаточно продолжительной, с узнаваемыми и вполне отличимыми подразделениями, которые должны быть индивидуальными и неповторимыми. И как показала геологическая практика, из всех природных процессов наилучшими являются биологические «часы», разработанные на основе эволюции органического мира и измеряющие время от начала позднего протерозоя до конца неогена и в какой-то степени позднее. Именно к этой шкале времени мы привязываем все другие геологические события и процессы. Привязка к единой геохронологической шкале – это и есть датирование стратиграфических подразделений, которые предварительно коррелируются между собой по различным признакам.

Следует заранее учитывать условность такой корреляции в связи с относительностью одновременности геологических событий, что устанавливается по признакам с вполне ограниченной точностью измерений.

Исторически сложилось, что геохронологическая шкала существует в двух взаимодополняющих вариантах – *относительном* и *абсолютном*.

Относительная геохронология возникла вместе со стратиграфией на базе Европейских стратиграфических данных и представляет собой систему хронологических подразделений, последовательно соподчиненных, – эры, периоды, эпохи, века и фазы. Им отвечают материальные геологические образования – эратемы, системы, отделы, ярусы и зоны. Их последовательное сочетание и составляет стратиграфическую шкалу, являющуюся основной в геологической практике. Такая шкала появилась ещё в XIX в., но до сих пор продолжает уточняться и детализироваться. В ней отсутствует измерительный стандарт, стратиграфические объёмы и границы подразделений не соразмерны, т. к. сложились исторически. Например силур вдвое короче девона, триас в 1,5 раза короче юры, палеозойская эра более чем вдвое продолжительнее мезозойской. С помощью этой шкалы оценивается последовательность событий, а не их даты в миллионах лет. Всё это и является основанием для определения этой геохронологической шкалы как относительной.

По своему значению такая шкала может быть международной, общей, региональной и местной.

Абсолютная геохронология отличается измерением геологического времени в астрономических единицах – годах. При этом чаще используются производные от латинского слова «annus» (год): ka – kilo-annorum (10^3 лет), Ma – Mega-annorum (10^6 лет), Ga – Giga-annorum (10^9 лет). Отсчет времени производится от настоящего времени, за которое принимается 1950 г. Поскольку по астрономическим данным скорость вращения Земли замедляется примерно на 16,4 с за 1 млн лет, за эталон продолжительности года принят 1900 г.

Однако в Дополнении к стратиграфическому кодексу России (2000) для возраста, полученного изотопным методом, рекомендуется употреблять термин «изотопный возраст» вместо «абсолютного», «радиологического» и других определений. При этом следует различать две сложившиеся концепции построения шкал геологического времени – *хронометрическую* и *хроностратиграфическую*. В первой из них подразделения – это интервалы времени с фиксированными границами, которые устанавливались изотопными методами без определённого отношения к конкретным комплексам горных пород. Хроностратиграфическая концепция выступает как инструмент численного датирования границ общей стратиграфической шкалы и определения длительности стратиграфических подразделений.

Изотопные и другие физические методы определения абсолютного возраста постоянно совершенствуются и уже сейчас определены в годах все основные стратиграфические рубежи в докембрии и фанерозое. Абсолютный возраст границ веков, фаз, стадий и т. д. показывается на всех стратиграфических схемах, т. е. дополняет относительную шкалу биосферного времени количественным содержанием. Синтез биосферных и изотопных датировок является основой современных стратиграфических схем.

Оба типа времени являются, по Симакову (1999), континуально-дискретными, и различие между ними состоит в том, что ход биосферного времени регулируется общими глобальными факторами, а изотопного – внутренними законами распада радиоактивных элементов. Первое время фиксирует события, происходившие под влиянием планетарных факторов, а второе (изотопное) измеряет время от запуска радиологических часов, принадлежащих той или иной минеральной системе. И такие радиологические часы практически малоприменимы для измерения времени существования конкретных палеоэкосистем.

Важными свойствами геологического времени являются, как уже говорилось, его направленность, неповторимость, необратимость и дискретность. Время течет только в одном направлении, от прошлого к будущему, через миг настоящего, т. е. является вектором. Оно необратимо и неповторимо, как неповторимы соответствующие стратиграфические подразделения, что подтверждается присущими только им качественными особенно-

стями (признаками). Последние же обусловлены всеобщим законом развития природы – движением от низшего к высшему, от простого к сложному, или законом возрастания сложности. Дискретность времени проявляется в ритмичности и даже цикличности геологических процессов, в этапности развития органического мира, что будет предметом последующего обсуждения. Важнейшей особенностью геологической летописи является также то, что большая часть времени не представлена в осадках конкретных разрезов и в эволюционных линиях развития биоты, а падает на перерывы.

Существует понятие кванта времени или мельчайшей и далее не делимой его единицы. В физике это «хронон» (10^{-24} с), или время, за которое квант света пересекает расстояние, равное диаметру электрона. Возраст нашей Метагалактики (около 20 млрд лет) составляет 10^{27} хрононов.

Для геологического времени такой мельчайшей единицей называют ритм (цикл) седиментации, а в стратиграфии – хрон, или время существования биозоны.

Возраст Земли определен сейчас в 4,4–4,6 млрд лет, фанерозоя – 535 млн лет. Чтобы представить себе более наглядную картину тех лет, предлагаем перевести её в линейный масштаб, приняв 1 год за 1 мм длины. При этом столетие, или век в истории, выразится всего в 0,1 м. Тысячелетие – 1 м. Возраст нашей цивилизации (4 тыс. лет) – 4 м. Голоцен, или последнее межледниковье (10 тыс. лет) – 10 м. Появление современного человека (40 тыс. лет назад) – 40 м. Последний, четвертичный, период земной истории (начался 1,8 млн лет назад) – 1,8 км. Продолжительность фанерозоя (535 млн лет) – 535 км, что сравнимо с расстоянием от Воронежа до Москвы. Возраст земной коры (около 4 млрд лет) – 4 тыс. км (сравнимо с расстоянием Архангельск – Ростов). То есть расстояния грандиозные, но вполне конечные.

Пока еще за пределами научного знания в области физики, астрономии и геологии являются проблемы более раннего времени и далёкого будущего, т. е. возникновения Вселенной и конца света, хотя умозрительных концепций не мало. У человечества ещё много времени для того, чтобы подготовиться к неожиданностям, к решению этих пока открытых вопросов.

А для нас геологическое время важно как главное организующее начало в развитии Земли и жизни на ней.

3. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ (ЗАКОНЫ) СТРАТИГРАФИИ

Стратиграфия, как и любая другая наука, основана на определенных принципах и понятиях. Словарь русского языка О. И. Ожегова (1963), Философский словарь под редакцией И. Т. Фролова (1987), Краткий словарь по логике (Горский и др., 1991) и другие справочники вполне однозначно определяют смысл основных терминов, которыми мы будем пользоваться.

Принцип – основное, исходное положение какой-либо теории, учения, науки (Ожегов, 1963); первоначало, руководящая идея, основное правило (Философский словарь, 1987).

Закон – внутренняя существенная и устойчивая связь явлений, обуславливающая их упорядоченное изменение. На основе знания закона возможно достоверное предвидение течения процесса (Философский словарь, 1987).

Концепция – система взглядов на что-нибудь, основная мысль чего-нибудь (Ожегов, 1963).

Закономерность – совокупность взаимосвязанных по содержанию законов, обеспечивающих устойчивую тенденцию или направленность в изменениях системы (Философский словарь, 1987).

Правило – положение, в котором отражена закономерность, постоянное соотношение каких-нибудь явлений (Ожегов, 1963).

В стратиграфии одни и те же научные концепции именуют или «принципами», или «законами», или «правилами». Д. Л. Степанов и М. С. Месяжников (1979) предпочитают для большинства случаев термин «принцип», а «закон» рассматривается как частный случай более общего понятия «научный принцип». «Закон» – это более узкое и более строгое понятие, тогда как «принцип» допускает более широкое и гибкое истолкование наблюдаемых явлений и процессов. Возведение «принципов» в ранг «законов» чревато догматизмом.

Считается, что в формировании своих собственных законов геология делает только первые шаги. Так, известный теоретик И. П. Шарапов в последнем Геологическом словаре (1973) находит только 11 законов, 10 из которых относятся к минералогии, геохимии и петрологии и только один – фациальный закон Головкинского–Вальтера – к собственно геологии, точнее, к стратиграфии.

В. Е. Хаин и А. Г. Рябухин (1997) выделяют три группы законов в геологии: 1) законы физики, химии и других точных наук, используемые в геологии; 2) законы-тенденции – направленность (необратимость) развития, непрерывность и прерывистость, синхронность и асинхронность, неравномерность, преемственность и обновление; 3) «специальные законы, отражающие характер проявления фундаментальных геологических процессов» (с. 194).

К числу «законов-тенденций» следует отнести прежде всего философские законы диалектики развития: 1) перехода количественных изменений в

качественные, 2) единства и борьбы противоположностей, 3) отрицания отрицания. К этой же группе принадлежит большой ряд категорий материалистической диалектики: содержание и форма, сущность и явление, причина и следствие, необходимость и случайность, возможность и действительность, общее и особенное и т. д.

И, наконец, стоит обратить внимание на такое важное понятие в теории познания, как «эмпирическое обобщение», предложенное В. И. Вернадским еще в 1929 г. (Фролов, 2004).

«Специальные законы» проявления геологических процессов имеют непосредственное отношение к стратиграфии и большинством специалистов квалифицируются как принципы.

Количество принципов у разных авторов колеблется от 3 (Мейен, 1989) до 25 и более (Симаков, 2004), хотя повседневное практическое значение имеют лишь некоторые из них.

Различают три группы принципов, используемых в стратиграфии: 1) общегеологические, или общеметодические, 2) литостратиграфические, или седиментологические, и 3) биостратиграфические.

Общегеологическое значение имеют принципы актуализма, необратимости геологической и биологической эволюции и неполноты геологической летописи.

Ниже характеризуются 11, по нашему мнению, основных принципов.

3.1. Принцип актуализма (принцип Ч. Лайеля)

Истоки этого учения мы находим еще в работах Ж. Л. Бюффона, который в середине XVIII в. отмечал, что настоящее – ключ к прошлому.

Дж. Геттон в 1795 г. в «Теории Земли» также писал: «Я принимаю вещи такими, каковы они сейчас, и отсюда делаю вывод о том, каковы они были когда-то», что является актуалистической идеей. Он же допускал рост интенсивности геологических процессов в отдельные эпохи.

Однако в виде системы знаний эта концепция была сформирована Ч. Лайелем в работе «Принципы геологии» (1830–1833): «Силы, ныне действующие как на земной поверхности, так и под нею, могут быть тождественны по роду и степени с теми, которые в отдаленные эпохи производили геологические изменения».

Возникает вопрос: почему принцип имеет такое название? Ведь «актуальный» в русском языке означает «назревший». Причем здесь «назревший»? Ответ заключается в том, что в европейских языках это слово имеет иное значение, соответствующее названию принципа: actual (англ.) – текущий, современный; actuel (фр.) – относящийся к настоящему времени; actualis (лат.) – деятельный, настоящий.

В американской литературе в том же значении используется термин «униформизм», который первоначально использовался в значении «градуа-

лизма», т. е. постепенности и единообразия изменений, а с середины XX в. в качестве синонима «актуализма». Истоки принципа актуализма находят также в катастрофизме французских палеонтологов и геологов Ж. Кювье, А. Броньяра, А. д'Орбиньи, Л. Эли де Бомона и других. С помощью природных катастроф объяснялось наблюдаемое противоречие между фактом смены фаун во времени и представлением о неизменности видов, введенным к этому времени в науку К. Линнеем. Учение о геологических катастрофах впоследствии оказалось одним из краеугольных камней событийной стратиграфии.

Ч. Лайель в «Основных началах геологии» (Лайель, 1868, русский перевод) объединил концепции постепенности развития и ненаправленности в принцип единообразия (униформизм), включающий:

- 1) единообразии закона или неизменности физических законов;
- 2) единообразии геологических процессов (актуализм) в течение всей истории Земли, основанное на общем принципе простоты; т. е. не нужно искать новые причины, объясняющие наблюдаемые результаты, если современные процессы их вполне объясняют;
- 3) единообразии скорости изменения (градуализм), которая аналогична современной, но в течение длительного геологического времени дает большой итог;
- 4) единообразии условий (ненаправленность или динамически стационарный процесс), что заключается, по Ч. Лайелю, в постоянстве облика Земли, хотя она при этом непрерывно изменяется.

Однако сейчас мы знаем об ограничениях принципа актуализма: без поправок он не распространяется на далекие геологические эпохи и тем более на докембрий, на еще слабо изученные процессы в глубинах Земли, на некоторые аспекты эволюции органического мира и т. д. Наиболее применим этот принцип в области осадочной геологии, т. к. смена палеогеографических обстановок на земной поверхности происходила сравнительно медленно, да и в разнообразии современных условий можно найти аналоги многих древних обстановок.

Столь же очевидна сейчас направленность и необратимость геологических процессов всех типов в истории Земли.

В отечественной научной литературе до 60-х гг. XX в. актуализм признавался только как метод и противопоставлялся при этом униформизму, который критиковался как метафизическая концепция («плоский эволюционизм»). Сейчас это противоречие преодолено и признается единство принципа и метода актуализма (униформизма) в научном познании.

Принцип актуализма положен в основу сравнительно-исторического, сравнительно-литологического и ряда других методических подходов. Он используется во всех науках и поэтому является общенаучным.

3.2. Принцип необратимости геологической и биологической эволюции

Этот закон является производным от всеобщего закона развития – закона отрицания отрицания, по которому всякое развитие представляет собой цепь отрицаний, сохраняющих положительные элементы. Возникшие новые высшие формы являются предпосылкой для дальнейшего развития, что и определяет тенденцию поступательного восходящего движения – развития от простого к сложному.

Другая сторона закона отрицания отрицания заключается в том, что развитие – это не прямолинейный процесс, а сложное спиралеобразное движение с повторением на высших стадиях отдельных сторон низших. Отсюда происходит цикличность и повторяемость в развитии. Но повторение пройденного на более высоких стадиях развития носит только внешнее формальное сходство со старым, отличаясь более прогрессивным внутренним содержанием. В этом заключается необратимость развития, невозможность движения назад. Поступательный ход развития реализуется в борьбе различных тенденций и не исключает отдельных моментов регресса, отклонений и зигзагов.

В естествознании этот принцип был открыт первоначально в биологии на примере эволюции органического мира и высказан Ч. Дарвином в книге «Происхождение видов» в главе XI: вид, раз исчезнувший, никогда не может появиться снова. Позднее этот принцип был распространен на эволюцию всей земной коры, на процессы литогенеза, тектогенеза, магматизма и т. д. (Н. М. Страхов, В. М. Сеницын, Ю. В. Тесленко и др.). Необратимость же эволюции органического мира стала основой палеонтологического метода в стратиграфии.

В самом общем виде принцип был сформулирован К. Марксом: «Ни в одной области не может происходить развитие, не отрицающее своих прежних форм существования» (цит. по: Степанов, Месежников, 1979, с. 44).

3.3. Принцип объективной реальности и неповторимости стратиграфических подразделений (принцип Л. Л. Халфина – Д. Л. Степанова)

Этот принцип, касающийся стратиграфических подразделений, имеет и более общее значение как в геологии, так и в других науках о природе, указывая на уникальность и реальность природных объектов, что было отмечено С. В. Мейеном (1981).

Первоначально Л. Л. Халфиным (1960) были выдвинуты два принципа: объективности общих стратиграфических подразделений и неповторимости подразделений региональных шкал как главных черт их обоснования. Однако у тех и других стратоноров гораздо больше общего и прежде всего – их

геохронологическое выражение. Все стратоны объективно отражают суть геологических событий и их последовательность, только в разных масштабах – общепланетарном или региональном. Это обстоятельство и позволило Д. Л. Степанову объединить оба предлагаемых принципа в один.

Объективная реальность *всех* стратонов подчеркивается во избежание субъективизма и случайности при их выделении, которое должно исходить не из условности или формального удобства, а из объективного раскрытия геологической истории. Это требование всегда отмечается в стратиграфических кодексах.

Неповторимость стратонов во времени проистекает из неповторимости условий, в которых они формировались, и тех признаков, на основании которых они были выделены.

Д. Л. Степанов (Степанов, Месежников, 1979, с. 48) предлагает следующую формулировку принципа: «Стратиграфические подразделения (стратоны), представляя реальный результат геологических событий, объективно отражают суть этих событий и не повторяются в пространстве и времени».

3.4. Принцип неполноты стратиграфической и палеонтологической летописи (принцип Ч. Лайеля – Ч. Дарвина)

Первые упоминания о неполноте геологической летописи, как отмечает К. В. Симаков (2004), приводятся Ч. Лайелем (1868), который отмечал, что «в хронологической цепи естественных событий... недостает многих звеньев», «...сохранение каких бы то ни было животных и растительных остатков всегда составляет исключение из правил...».

Ч. Дарвин в X главе «Происхождения видов» развил это представление, указав, что в геологических напластованиях запечатлена лишь меньшая часть геологической истории, а большая приходится на перерывы.

Позднее выяснилось, что наряду с крупными перерывами большое значение имеют мелкие, названные диастемами, обусловленные прерывистостью самого процесса осадконакопления, его пульсационным характером. По оценкам многих специалистов (С. Н. Бубнов, Д. В. Наливкин, В. Н. Шванов) в разрезах земной коры запечатлено всего 10–25 % времени ее формирования. Именно поэтому трудно установить эталонные разрезы стратиграфических подразделений и целесообразнее принимать за эталоны их границы. И именно поэтому так важно изучать разные разрезы одного и того же стратона, поскольку в них может быть дополнительная информация о пропущенных интервалах.

Формулировка принципа, по Д. Л. Степанову и М. С. Месежникову (1979, с. 49), следующая: «Стратиграфическая летопись в виде толщ горных пород земной коры является неполной, т. к. более или менее значительная часть геологического времени в каждом конкретном разрезе не отражена в напластованиях и приходится на перерывы».

Однако существует и второй аспект этого принципа – это утверждение Ч. Дарвина о неадекватности палеонтологической летописи, о том, что ископаемые окаменелости представляют лишь незначительную часть организмов прошлых геологических эпох. Многие из них были не способны fossilizироваться и поэтому исчезли бесследно. Другие попадали в неблагоприятные для сохранения условия и также разрушались. Это утверждение позволило Ч. Дарвину объяснить редкость переходных форм между видами, которые должны были существовать по эволюционному учению.

По наблюдениям Ч. Дарвина, не сохраняются многие организмы из приливно-отливной зоны моря, наземные формы из пещер и озер. В то же время он отмечал условия, благоприятные для захоронения: «...чтобы глубина моря продолжала оставаться незначительной и чтобы остатки заносились и сохранялись, прежде чем они успевали разрушиться».

Конечно, Ч. Дарвин осознавал, что неполнота геологической летописи бывает обусловлена и недостаточной изученностью разрезов. Поэтому с открытием новых переходных форм между видами уже в конце XIX в. идея Ч. Дарвина о неполноте летописи показалась некоторым ученым устаревшей (К. А. Тимирязев, А. Шоу, Н. Ньюелл и др.). А совершенствование техники изучения органических остатков в XX в. позволило открыть новые страницы в летописи жизни на Земле, в частности увидеть органический мир в докембрии. Однако до полной ясности и полноты геологической летописи еще далеко.

Тем более в конкретных разрезах. Академик Д. В. Наливкин (1974) для иллюстрации неполноты собственно геологической летописи приводит расчеты времени для накопления толщ фанерозоя, исходя из скорости современного осадконакопления. Получается, что для накопления всей толщи осадков фанерозоя достаточно всего 60 млн лет, в то время как продолжительность фанерозоя составляет около 600 млн лет (535 ± 1 млн лет по последним данным). То есть почти 90 % геологического времени приходится на перерывы. Такой актуалистический подход, хоть и очень грубо, но вполне достоверно подтверждает громадные пропуски в последовательности напластования, в геологической истории Земли.

Представление о неполноте геологической летописи и сейчас разделяется всеми учеными в нашей стране и за рубежом.

3.5. Принцип фациальной дифференциации одновозрастных отложений (принцип А. Грессли – Э. Реневье)

Этот принцип имеет литостратиграфическое значение и появился с установлением понятия «фация» (*facies* – лицо, облик, вид), предложенного А. Грессли в 1836 г. На примере юрских отложений Швейцарии он показал, что конкретные параметры осадка отражают условия их образования, которые изменяются как по латерали, так и в геологической истории. В одно-

возрастных, но разных фациях может быть разная фауна. Э. Реневье в 1884 г. уточнил понятие фации, подчеркнув одновозрастность как необходимый элемент этого понятия.

Данный принцип предостерегает геологов от поспешных выводов при корреляции разрезов по внешне сходным литологическим и даже палеонтологическим признакам, поскольку они могут быть обусловлены одинаковыми фациальными обстановками.

Д. Л. Степанов и М. С. Месежников (1979, с. 54) сформулировали принцип следующим образом: «Одновозрастные отложения претерпевают в горизонтальном направлении фациальные изменения, обуславливающие существенные различия их литологического состава и палеонтологической характеристики» (рис. 1).

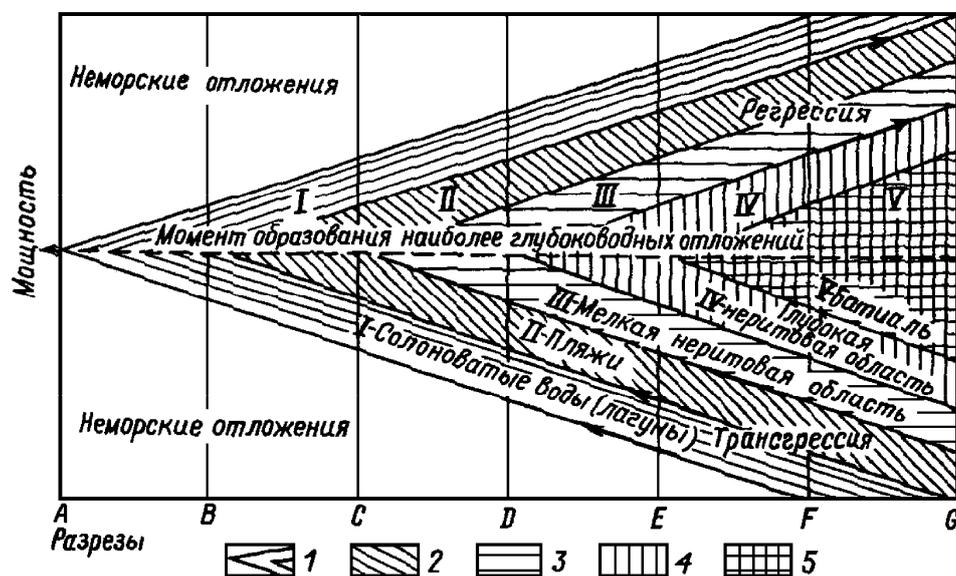


Рис. 1. Фациальные изменения осадков по латерали (Степанов, Месежников, 1979)

3.6. Принцип возрастной миграции граничных поверхностей супракрустальных геологических тел (закон Н. А. Головкинского – И. Вальтера)

Этот принцип также относится к ряду литостратиграфических, или седиментологических, и был впервые сформулирован Н. А. Головкинским (1868), который на примере пермских отложений Волжско-Камского бассейна указывал на разновозрастность частей одного и того же слоя как результат слоеобразования в условиях перемещения береговой линии (рис. 2).

Позднее, в 1893 г. к этому же выводу независимо пришел И. Вальтер, установивший закономерность в сочетании фаций, названную законом Вальтера: «Одна на другую первично могут быть наложены только те

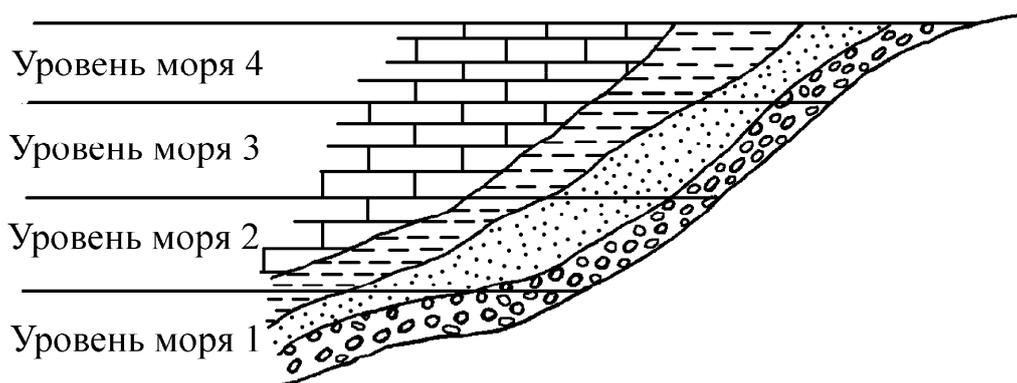


Рис. 2. Гетерохронное слоеобразование при трансгрессии моря

фации и фациальные площади, которые могут наблюдаться в настоящее время рядом одна с другой» (Цит. по: Селли, 1981, с. 290).

В конце XIX и в XX в. многими исследователями была подтверждена неодновременность литологических границ со скольжением во времени в пределах века (яруса) и даже эпохи (отдела). Но в то же время геологическая практика дает нам изрядное количество примеров изохронных литологических границ, или, по крайней мере, изохронных с точки зрения точности палеонтологического метода. Следует учитывать, что «в каждом слое можно считать синхронными только те осадки, которые отлагались вдоль существовавших в каждый данный момент определенных зон седиментации, т. е. осадки, распределяющиеся в направлении, параллельном береговой линии» (Гейслер, 1950. Цит. по: Степанов, Месежников, 1979, с. 50). Соответственно по направлению к берегу в трансгрессивных комплексах происходит омоложение слоя, а в противоположном направлении – его удревнение.

Формулировка принципа по Д. Л. Степанову: «Граничные поверхности геологических тел не являются вполне изохронными на всем протяжении, причем градиент возрастной миграции этих поверхностей возрастает в направлении, перпендикулярном к береговой линии бассейна седиментации, и уменьшается в направлении, параллельном последней (Степанов, Месежников, 1979, с. 51).

В. Т. Фролов (2005, с. 11) отмечает, что данный закон «требует простого, "линейного", непрерывного накопления осадков, что бывает далеко не всегда, и, кроме того, перерывы и другие события часто не устанавливаются легко и однозначно: наслоение нередко бывает "мутационным" (по Н. В. Вассоевичу)».

3.7. Принцип периодичности (ритмичности, цикличности и этапности) явлений и процессов

Формулировка принципа следующая: геологическое развитие имеет особенности измерения, выражающиеся в этапах, циклах, ритмах.

Этот принцип исходит из свойства дискретности геологического времени и является продолжением принципа необратимости геологической эволюции. Поскольку он характеризует процесс развития во времени, его следует считать уже собственно стратиграфическим принципом. Что же понимается под ритмичностью, цикличностью и этапностью?

«*Ритм* – равномерное чередование каких-нибудь элементов, размеренность в развитии чего-нибудь» (Ожегов, 1963). В геологической литературе под ритмичностью обычно понимается закономерное повторение в разрезе однотипно построенных комплексов осадочных пород.

«*Цикл* – совокупность явлений, процессов, составляющая кругооборот в течение известного промежутка времени» (Ожегов, 1963). В геологии цикл не обязательно должен повторяться и приводить к исходному положению. Цикличность – более общее и более широкое понятие, чем ритмичность. Геологический словарь (1973) приводит следующие примеры циклов: цикл вулканический, цикл геотектонический, цикл орогенический, цикл складчатости и т. д.

«Ритм» и «цикл» нельзя подчинять один другому, т. к. они выражают различную степень периодичности, обособленности процессов и имеют свои порядки измерения. Ритмы более обычны в геологических процессах, хотя в геологической практике более употребительны циклы. Ритм или цикл – это звено в спирали развития, ее виток. Он тем очевиднее, чем менее выражена вертикальная составляющая спирали.

Этап – это естественно обусловленная стадия в развитии. Этапность как выражение саморазвития более заметна у быстро развивающихся систем. Поскольку скорость развития возрастает, длительность этапов со временем сокращается. Этап является мерой прогрессивного развития и не всегда имеет точное временное выражение.

Раздел стратиграфии, изучающий ритмику природных процессов в целях расчленения и корреляции разрезов, называется ритмостратиграфией.

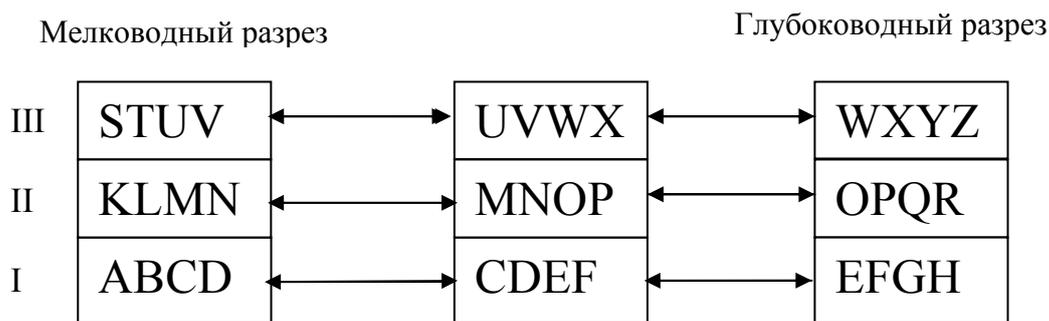
3.8. Принцип хронологической взаимозаменяемости признаков (принцип С. В. Мейена)

Этот принцип изложен в монографии С. В. Мейена (1989) в главе «Каузальная стратиграфия. Геосистемы» (с. 38).

Каузальный (причинный) подход в стратификации геосистем подразумевает генетический подход, однако не обязательно с ним отождествляется. Имеется в виду реконструкция геосистем, в частности палеоэкосистем.

Представим себе некую систему, например, водный бассейн, в котором происходит осадконакопление и живет комплекс организмов. Поступающий в систему извне сигнал (например, похолодание или изменение солености) отражается одновременно во всех признаках или элементах экосистемы. Прослеженные по горизонтали признаки одной и той же перестройки можно считать хронологически взаимозаменяемыми.

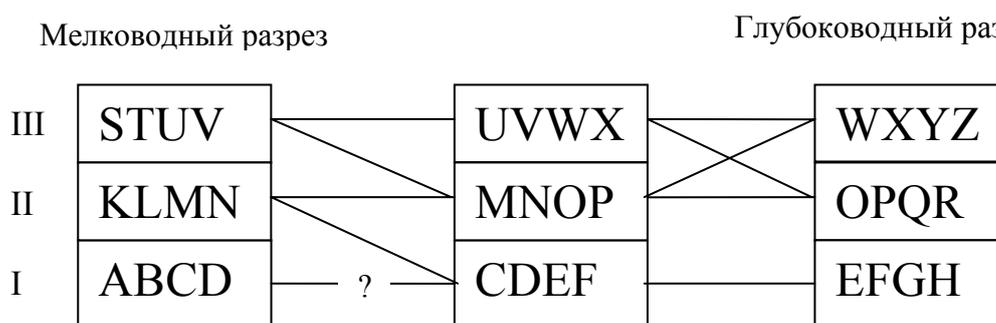
Хронологическая взаимозаменяемость признаков перестройки по горизонтали



Принцип сформулирован так: «Хронологически тождественными или взаимозаменяемыми являются такие стратиграфические признаки, которые отражают следы одной и той же геосистемной перестройки».

В реальности на одни и те же сигналы (воздействия) элементы геосистем реагируют по-своему. В результате появляются различные варианты хронологической взаимозаменяемости признаков.

Различные варианты хронологической взаимозаменяемости признаков



Выбор из них одного основного связан с решением вопроса веса признаков. При этом признаки, связанные отношением взаимозаменяемости (хронологической тождественности), являются наиболее весомыми.

Приходится также комплексировать признаки, т. к. несколько недостаточно надежных показаний, будучи скомплексированными, дают одно надежное.

Этот принцип особенно важен при корреляции частных разрезов с эталонными.

3.9. Принцип последовательности образования геологических тел, или принцип суперпозиции (принцип Н. Стенона)

Этот принцип называют первой аксиомой стратиграфии (Л. Л. Халфин). Он появился первоначально как закон слоеобразования в диссертации Н. Стенона в 1669 г. (Стенон, 1957): «При ненарушенном залегании каждый нижележащий слой древнее покрывающего слоя... В то время, когда происходило образование данного слоя, все вещество, находившееся над ним, было жидким, и, следовательно, в то время, когда образовывался нижний слой, ни один из верхних слоев не существовал».

В формулировке С. В. Мейена (1989) «временные отношения раньше/позже между геологическими телами определяются их первичными пространственными отношениями и (или) генетическими связями».

Н. Стенон подчеркивает важность знания генезиса: «При данном теле определенной формы, созданном согласно законам Природы, в самом этом теле находим доказательства, раскрывающие место и способ его создания».

При этом возможны следующие взаимоотношения тел (рис. 3).



Рис. 3. Примеры различных взаимоотношений геологических тел:
1 – горизонтальное налегание; 2 – прислонение (аллювиальный врез); 3 – выполнение эрозионной долины; 4 – облекание выступа (рифа)

Кроме последовательности напластования, Н. Стенон утверждал также первичную горизонтальность слоев и первичную их непрерывность, ограниченную только периферией бассейна.

Из этого принципа вытекает следующее следствие: если слой прослеживается в ряде разрезов, где он перекрывается более молодыми образованиями или подстилается более древними, сопоставляемые разрезы могут быть суммированы в одну стратиграфическую колонку путем наращивания любого из них вверх или вниз от указанного слоя согласно последовательности напластования.

Так построены все сводные стратиграфические колонки и на их основе единая стратиграфическая шкала, т. к. на Земле нет региона, где были бы представлены в едином разрезе все геологические системы.

В. Т. Фролов (2004) и некоторые другие авторы указывают на ряд ограничений в использовании этого принципа: «Слои формируются не только на твердом дне, не только сверху, но и снизу, из жидкой фазы (озерные торфяники, плавающие плиты соли, льда, лавовые корки и т. д.) и сбоку (коралловые и другие биогермы, хемогермы: сталактиты, столбы серы, руды сульфидов "черных курильщиков" и др.) и не обязательно ограничиваются

твердым телом сбоку: окончания морен, селевых отложений, обвалов, лавовых потоков, многих типов туфов и других отложений часто бывают субвертикальными, и высота их уступов достигает десятков метров.

Второй закон – о первично горизонтальном залегании слоев – еще менее универсален: слои на стратовулканах, на других склонах, дюнах, подводных валах откладываются и под углами 40–45° к горизонту, а в био- и хемогермах – на вертикальных стенках» (Фролов, 2004, с. 11). По его мнению, этот принцип имеет не столько теоретическое, сколько историческое значение.

3.10. Принцип гомотаксальности (принцип В. Смита – Т. Гексли)

Название принципа происходит от слова «гомотаксис», которое обозначает сходство по определенным, прежде всего палеонтологическим, признакам отложений, занимающих одинаковое стратиграфическое положение в разрезах отдельных областей.

Он исходит из известного определения В. Смита (1817): «Сходные слои содержат сходные ископаемые». В качестве принципа стратиграфии этот тезис был предложен С. В. Мейеном (1974, с. 168): он «устанавливает хронологические отношения пространственно разобщенных последовательностей геологических тел», что необходимо для построения основы хроностратиграфической шкалы. По Т. Гексли, «одна и та же область земной поверхности последовательно заселялась разнообразными представителями животного мира», «порядок последовательности, установленный в данном районе, приблизительно сохраняется и во всех других районах», «серии походят одна на другую благодаря не только общему сходству органических остатков, но и порядку и характеру последовательности серий в каждом районе. Существует сходство расположения, так что отдельные члены каждой серии, так же и серии в целом, находятся в соответствии» (Цит. по: Симаков, 1997, с. 101). То есть принцип гомотаксальности распространяется не только на последовательность фаун, но и на смену литологических комплексов. Последнее особенно важно в условиях неполноты геологической летописи в смежных регионах, фациальной дифференциации разновозрастных отложений и возрастной миграции граничных поверхностей.

Сходную с Т. Гексли формулировку принципа предложил А. И. Жамойда (Практическая стратиграфия, 1984, с. 12): «Стратиграфическая корреляция конкретных разрезов, если непосредственное прослеживание невозможно, осуществляется сопоставлением гомотаксальных, т. е. идентичных, последовательностей признаков, в том числе следов обстановок и событий прошлого».

В геологической истории эволюция различных гео-, био- и экосистем происходила метахронно, с наложением разнородных факторов, имеющих автономную продолжительность и сферы влияния. Принцип гомотаксаль-

ности предназначен для учета влияния этих факторов при геологической корреляции.

3.11. Принцип биостратиграфического расчленения и корреляции (принцип В. Смита)

Считается, что этот основной принцип стратиграфии является частным случаем предыдущего принципа Смита–Гексли (Прозоровский, 2003, с. 81).

Как и метод биостратиграфического расчленения, принцип исходит из двух работ В. Смита: «Слои, распознаваемые по органическим остаткам» и «Стратиграфическая система органических ископаемых», опубликованных в 1816 и 1817 гг. соответственно. Авторская формулировка принципа не отличается особой четкостью: «Сходные слои содержат сходные ископаемые». Поэтому другие авторы дают этому принципу более конкретные определения. Л. Л. Халфин (1960), называя его «принципом биостратиграфической параллелизации», приводит следующую формулировку: «Отложения, содержащие одинаковую фауну (флору), геологически одновозрастны».

Д. Л. Степанов и М. С. Месежников (1979) предлагает формулировку: «Отложения можно различать и сопоставлять по заключенным в них ископаемым».

Большинство исследователей оценивают В. Смита как одного из основоположников стратиграфии, и в частности – биостратиграфии, а предложенный им принцип – как руководящий в стратиграфии.

Как и предыдущий принцип, принцип Смита имеет сегодня в основном историческое значение «памятника романтического детства геологии», по выражению В. Т. Фролова (2004). В геологической практике он используется очень широко, но совершенно безотносительно к его статусу, т. е. без упоминания в качестве принципа.

3.12. Другие принципы

В геологической литературе XIX и XX вв. можно встретить ряд других принципов или законов, которые к настоящему времени оказались или несостоятельными, или не имеющими особого значения.

Вместе с тем, установлены эмпирические закономерности, которые могут претендовать на роль законов или принципов. В их числе В. Т. Фролов (2004) упоминает:

- 1) зависимость эвстатических колебаний уровня Мирового океана от оледенений и дегляциаций;
- 2) связь некоторых типов осадочной цикличности с астрономическими циклами;
- 3) механизм дельтовой, турбидитовой и речной седиментации;
- 4) формирование речных и других террас.

Этот ряд закономерностей безусловно может быть расширен за счет чисто геологических открытий последних десятилетий.

4. МЕТОДЫ СТРАТИГРАФИИ

Метод – система приемов и способов исследования в той или иной области. Методы вытекают из определенных принципов (законов), и границы между ними относительны. Методы, применяемые в стратиграфии, могут быть классифицированы на общенаучные и частнонаучные, т. е. геологические (стратиграфические).

4.1. Общенаучные методы

Применяются в любой области познания (заметим, что познание далеко не всегда связано именно с наукой: например, религия). Это анализ, синтез, абстрагирование, обобщение.

Чтобы исследовать природный объект, надо целостный предмет расчленить (мысленно или практически) на составляющие части, а затем изучить их в относительной самостоятельности. После этого части можно вновь объединить в единый предмет и составить о нем общее представление. Эта цель достигается с помощью *анализа* и *синтеза*. *Анализ* – расчленение предмета на части с целью их самостоятельного изучения; *синтез* – соединение ранее выделенных частей в единое целое.

Абстрагирование – это особый прием мышления, заключающийся в отвлечении от ряда свойств и отношений изучаемого предмета или явления с одновременным выделением интересующих нас свойств или отношений. Абстракциями могут быть как отдельные понятия и категории, так и системы.

Обобщение – это такой метод мышления, когда устанавливаются общие свойства и признаки объектов (переход от частного понятия к общему). Пример: береза – дерево – растение – живой организм.

Общенаучные методы применяются в любой области научного познания. Это наблюдение, эксперимент, аналогия, моделирование (в том числе системный подход), индукция и дедукция и т. д.

Наблюдение — целенаправленное, организованное восприятие предметов и явлений. Научные наблюдения проводятся для сбора фактов, укрепляющих или опровергающих ту или иную гипотезу, выступающих основой для определенных теоретических обобщений. Обыденное наблюдение ограничено биологическими возможностями органов чувств. Но благодаря развитию техники, созданию и применению для целей научного познания специальных инструментов, приборов, диапазон чувственно воспринимаемых явлений неограниченно расширяется. Однако в наблюдении всегда сохраняется полная зависимость наблюдателя от изучаемого процесса, явления. Оставаясь наблюдателем, исследователь не может изменять объект, регулировать само протекание процесса, управлять им и контролировать его.

Эксперимент — способ исследования, отличающийся от наблюдения активным характером, преобразующим воздействием на объект изучения.

Эксперимент позволяет, во-первых, изолировать исследуемый объект от влияния побочных, несущественных для него явлений, изучать объект в «чистом» виде. Во-вторых, в ходе эксперимента многократно воспроизводится ход процесса в строго фиксированных, контролируемых условиях. В-третьих, эксперимент позволяет планомерно изменять само протекание изучаемого процесса, состояния объекта изучения вплоть до превращения его в другие, еще не известные объекты. Все это подчинено решению проблемы, в связи с которой ставится эксперимент.

В ходе наблюдения и эксперимента, как правило, проводится такая процедура, как *измерение*, объективная количественная оценка исследуемых явлений.

Измерение — это материальный процесс сравнения какой-либо величины с эталоном, единицей измерения. Число, выражающее отношение измеряемой величины к эталону, называется числовым значением этой величины.

Аналогия — прием познания, при котором на основании сходства объектов в одних признаках заключают об их сходстве и в других свойствах. Тот факт, что похожие в одном отношении объекты сходны и в некоторых других отношениях, лежит в основе не только аналогии как особого познавательного приема, но и метода моделирования. Однако при использовании аналогии и моделирования необходимо отдавать себе отчет, что как бы ни было значительно найденное сходство признаков рассматриваемых вещей, выводы по аналогии всегда бывают только вероятностными.

Моделирование — это замена изучения интересующего нас явления в природе изучением аналогичного явления на модели меньшего или большего масштаба, обычно в специальных лабораторных условиях. Основным смыслом моделирования заключается в том, чтобы по результатам опытов с моделью дать необходимые ответы о характере эффектов и различных величинах, связанных с явлением в натуральных условиях. Сама же *модель* может быть определена как материальная или мысленно представляемая система, заменяющая объект познания. Моделирование применяется тогда, когда трудно или невозможно изучать объект в естественных условиях.

Индукция — это метод исследования и способ рассуждения, когда общий вывод строится на основе частных посылок; это переход от частного к общему.

Дедукцией называется метод исследования, когда из общих посылок с необходимостью строится заключение частного характера; это переход от общего к частному.

Основой индукции является опыт, эксперимент и наблюдение. Затем повторяющиеся признаки распространяются на весь класс явлений. При этом важно отметить, что индуктивное суждение, переходя от частных посылок к общему утверждению, всегда гипотетично (предположительно). Дедукция отличается противоположным движением мысли (от общего знания к частным выводам из него).

4.2. Частные научные методы

Применяются в отдельных науках или группе наук. Для стратиграфии основными методами являются метод актуализма и методы, вытекающие из принципов эволюционизма живой и неживой природы.

Принцип актуализма (термин этот был введен в 1830 г. Ч. Лайелем) заключается в том, что при любых реконструкциях событий прошлого мы постулируем: в те времена должны были действовать такие же законы природы, которые действуют и ныне (Еськов, 2000). Сам Лайель кратко формулировал его так: «Настоящее есть ключ к пониманию прошлого». И пускай, к примеру, в докембрии существовали экосистемы, не имеющие современных аналогов, но камень-то, надо думать, и тогда падал на землю с ускорением $9,8 \text{ м/с}^2$, вода замерзала при нуле градусов Цельсия, а молекула хлорофилла исправно поглощала кванты света... А, собственно говоря, почему? Вопрос этот вовсе не так уж прост.

Непосредственно в прошлое заглянуть невозможно, машина времени — это несбыточная мечта человечества. Любые наши суждения о прошлом есть лишь более или менее вероятные предположения, основанные на интерпретации фактов и событий современности. Все наши выводы будут основаны на аналогиях с тем, что известно нам из современной жизни. Мы обязаны поступать именно так, и вот почему.

Одним из фундаментальных принципов рационального мышления является «*Бритва Оккама*» (по имени английского философа XIII в.); сам Оккам формулировал его так: «Не умножай сущностей сверх необходимого». Применительно к правилам научного исследования это означает следующее: выбирая одну из нескольких гипотез, объясняющих некое явление, надо начинать с самой простой из них, и только убедившись в том, что она «не работает», переходить к более сложной, повторяя эту процедуру до тех пор, пока не будет найдено простейшее удовлетворительное объяснение.

Приведем такой пример. На тихоокеанском острове Пасхи имеются циклопические статуи, которые, казалось бы, не могли быть воздвигнуты примитивным племенем, населяющим остров в наши дни. Можем ли мы высказать гипотезу, что статуи эти поставлены пришельцами с другой планеты? Конечно, можем. Однако, находясь в рамках рационального подхода, мы вправе принять подобное объяснение лишь после того, как будут исчерпаны все более простые — «земные» — гипотезы. Т. Хейердал, сделавший успешную попытку установить пасхианскую статую с помощью лишь тех средств, что есть в наши дни в распоряжении тамошних аборигенов, действовал строго в рамках «Бритвы Оккама», хотя наверняка не задумывался над этим. Последнее весьма существенно: дело в том, что принцип «Бритвы Оккама» для любого ученого, по крайней мере, в сфере естественных наук, настолько фундаментален, что обычно его просто не замечают, как мы не замечаем воздуха, которым дышим.

Возвращаясь к методам реконструкции картин далекого прошлого, отметим, что с этой точки зрения актуализм – стремление в исторических реконструкциях отталкиваться от современных аналогов – совершенно корректен. Прошлое вообще познаваемо ровно настолько, насколько точные аналогии былым ситуациям существуют в современности. При этом мы регулярно будем сталкиваться и с такими совокупностями фактов, для объяснения которых нам придется предполагать, что в природе существовали и ситуации, ныне не наблюдаемые. Являются ли такие реконструкции отступлением от принципа актуализма? Нет, не являются, и вот почему.

Дело в том, что *принцип актуализма не является аксиоматическим утверждением*. Аксиома — это принимаемое без доказательств положение, на основе которого строится внутренне непротиворечивая система взглядов. Если мы принимаем аксиому «Через точку, лежащую вне прямой, можно провести одну и только одну прямую, параллельную данной», то получаем внутренне непротиворечивую геометрию Евклида. А если принять, что через такую точку можно провести *несколько* прямых, не пересекающих данную, то возникнет геометрия Лобачевского, столь же внутренне непротиворечивая, что и «нормальная», евклидова.

Принцип же актуализма принадлежит к иному типу утверждений – *презумпциям*. Всем известна используемая в юриспруденции *презумпция невиновности*. Она может быть сформулирована так: поскольку большинство людей не являются преступниками, каждый отдельно взятый человек должен считаться невиновным до тех пор, пока не доказано обратное. Последнее – чрезвычайно важно: в презумпции изначально заложена возможность опровержения; она лишь устанавливает очередность, в которой следует рассматривать соответствующие гипотезы.

Этот тип утверждений используется в естественных науках чрезвычайно широко, хотя практически всегда в неявном виде. Например, постоянно практикуемое биологами определение степени родства организмов по степени их сходства – не что иное, как презумпция, которую можно сформулировать так: «Более сходные между собой организмы должны считаться более близко родственными между собой до тех пор, пока не доказано обратное (т. е. *конвергентное* возникновение этого сходства)». Одной из презумпций и является принцип актуализма, который может быть переформулирован таким образом: *в процессе исторического исследования мы должны исходить из того, что любые системы в прошлом функционировали так же, как их современные аналоги, до тех пор, пока не доказано обратное*.

Методы стратиграфии устанавливались эмпирически и только недавно получили теоретическое обоснование. Они делятся на три группы:

- 1) физические и химические, в том числе литологические, основанные на признаках вещественного состава пород, т. е. на их физических и химических характеристиках и условиях залегания;

- 2) палеонтологические методы, основанные на изучении остатков вымерших организмов;

3) комплексные, основанные на синтезе первых двух групп методов.

Группы могут разделяться на подгруппы. Обилие методов объясняется большой сложностью объекта изучения.

Стратиграфия решает три основные задачи.

1. Расчленение разрезов и выделение стратиграфических подразделений (стратонов) для отдельных участков земной коры. Иными словами, это установление отличий между пачками горных пород и выяснение последовательности их напластования. Это направление имеет своим результатом создание локальных (местных) и региональных стратиграфических схем, отражающих конкретный ход процесса геологического развития данной территории.

2. Корреляция и установление одновозрастности стратиграфических подразделений (стратонов) различных категорий и рангов. Это направление стратиграфических исследований создает базу для решения третьей задачи стратиграфии.

3. Создание общей (универсальной или международной) хроностратиграфической шкалы на базе межрегиональной корреляции; эта шкала является основой для разработки адекватной ей геохронологической шкалы.

Три задачи стратиграфии отражают последовательные стадии или уровни стратиграфического исследования от расчленения и параллелизации конкретных разрезов через их межрегиональную корреляцию к планетарному синтезу. Однако каждая из этих основных задач является одновременно и самостоятельным направлением стратиграфических исследований, результаты которых имеют применение в геологии.

Многие из методов расчленения и корреляции осадочных отложений имеют ограниченный диапазон действия, применимы только для местной и региональной корреляции. Поэтому задачи решаются комплексированием методов по принципу взаимозаменяемости методов в местах их сопряжения.

Важно иметь в виду, что чем выше ранг стратиграфических единиц, тем проще установить их одновозрастность, чем ниже (ярус, зона, раздел) – тем труднее. Во всех случаях высшим контролем корреляции является непосредственное протягивание пласта или стратона и применение принципа Стенона (последовательности образования геологических тел).

4.3. Группа геологических (непалеонтологических методов)

Основана на изучении условий залегания, особенностей напластования и вещественного состава пород. Применяется, когда нет палеонтологических остатков или высока детальность расчленения.

4.3.1. Тектоностратиграфические (диастрофические) методы

Диастрофа (греч.) – выворачивание, искривление. Это методы, которые основаны на проявлениях диастрофизма. Идея о возможности использова-

ния для целей стратиграфии различных тектонических движений возникла в конце XIX в. Однако фактически неосознанное использование проявлений тектогенеза началось одновременно с разработкой стратиграфической шкалы, еще в первой половине XIX в. При первоначальном установлении геологических систем их границы проводились с учетом перерывов в напластовании, подчеркивавших их четкость и придававших им характер естественных рубежей. Однако только в конце XIX в. успехи геотектоники подготовили почву для теоретически обоснованного подхода к использованию проявлений диастрофизма в качестве критерия при проведении стратиграфических границ различного ранга.

В первой четверти XX в. широкое распространение получили представления Т. Чемберлина и Г. Штилле о всеветном и кратковременном проявлении фаз орогенеза, что придавало им стратиграфическое значение. Многие советские и зарубежные геологи видели в орогенических фазах лучший критерий для стратиграфического расчленения и корреляции, поскольку условия осадконакопления и развитие органического мира в конечном счете являются производными диастрофизма. Наиболее четко эта идея была сформулирована Н. Б. Вассоевичем (1934): «Крупные диастрофические фазы, если только они действительно в одно и то же время (геологически быстро) проявляются, были бы лучшим критерием для подразделений, ибо и развитие органической жизни на Земле (палеонтологический признак), и изменения условий седиментации (литологический признак расчленения осадочного комплекса) являются производными диастрофизма».

В дальнейшем, однако, эти представления подверглись критике со стороны многих исследователей, квалифицировавших их как неокатастрофизм (Шатский Н. С., 1937). Выяснилось, что орогенические процессы и фазы их проявления обычно характеризуются значительной длительностью и сложностью. Таким образом, взгляды Т. Чемберлина, Г. Штилле и их последователей представляют упрощение реально существующих в природе процессов и явлений.

Отдельные фазы орогенеза оказываются обычно территориально ограниченными, будучи приурочены к определенным геосинклинальным областям или даже к отдельным зонам внутри них. Даже в пределах отдельных орогенических зон степень интенсивности проявления фазы складчатости может оказаться существенно различной. Проявления орогенеза могут с успехом быть использованы для установления границ местных и региональных стратиграфических подразделений, но не пригодны для межрегиональной и планетарной корреляции.

Другое направление делает главный упор не на складчатую, а на колебательную (эпейрогеническую) форму диастрофизма, проявляющуюся в виде морских трансгрессий и регрессий. Это направление берет свое начало от высказанных еще в конце XIX в. Э. Зюссом представлений о чередовании периодов общих погружений и поднятий континентов. В дальнейшем

было показано, что большинство трансгрессий и регрессий охватывали только части континентов. Соответственно трансгрессии и регрессии в большинстве своем являются местными, не имеющими универсального значения. Однако в истории Земли имели место и отдельные всеобщие трансгрессии и регрессии, обусловленные эвстатическими колебаниями уровня Мирового океана.

Независимо от причин, вызывавших трансгрессии и регрессии, последние фиксируются в разрезе осадочных толщ в виде перерывов морского осадконакопления, являющихся, таким образом, естественными рубежами, удобными для привязки к ним границ региональных стратиграфических подразделений. Перерывы в осадконакоплении и обусловленные ими несогласия вызываются не только колебательными, но и складкообразовательными движениями. Поэтому определение и анализ перерывов очень важны для стратиграфии.

Одна из первых попыток использования диастрофизма для уточнения границ стратиграфических подразделений нашла отражение в «Стратиграфическом кодексе США», подготовленном и опубликованном в 1933 г. В § 5 кодекса указывается, что границы формации (подразделение местной шкалы) должны проводиться на уровне существенного изменения литологических особенностей разреза или там, где имеются значительные перерывы в осадконакоплении.

Попытка более полного использования диастрофизма была предпринята А. Грэбо (Grabau, 1932) на основе разработанной им пульсационной гипотезы геотектонического развития Земли. Этот ученый допускал существование вертикальных движений – пульсаций или ритмических колебаний дна Мирового океана, обуславливавших соответственно повсеместное повышение или понижение его уровня. Ритмичность колебания уровня Мирового океана, согласно представлениям А. Грэбо, должна была вызывать ритмичное чередование трансгрессий и регрессий, которые проявляются одновременно во всех геосинклинальных областях.

Исходя из этих теоретических предпосылок, А. Грэбо разработал новую стратиграфическую шкалу палеозоя. В качестве границ между выделенными им системами принимался уровень, соответствующий фазе максимального развития регрессии и начала новой трансгрессии. Каждая система, естественно, делилась на два отдела. Нижний отдел соответствовал трансгрессии, а верхний – регрессии. Таким образом, каждая система соответствовала одной пульсации, что привело к разукрупнению традиционных систем палеозоя. В качестве примера можно привести «виземюрскую» систему, в которой нижнему, трансгрессивному, отделу соответствует визейский ярус каменноугольной системы, а верхнему, регрессивному, – намюрский ярус международной шкалы.

Несмотря на то что А. Грэбо попытался дать широкую аргументацию предложенной им новой шкалы палеозоя, последняя не получила призна-

ния. Тем не менее его попытка перестройки общей стратиграфической шкалы на базе пульсационной гипотезы явилась прообразом получившего широкое распространение в стратиграфии наших дней метода циклического анализа.

В Советском Союзе основоположником тектоностратиграфического метода являлся М. А. Усов (1936). В качестве основы этого метода он принимал свою теорию саморазвития Земли, представляющую собой одну из разновидностей пульсационной гипотезы и идеи геотектонических циклов. Пульсационный характер процесса развития Земли проявляется в виде фаз складчатости, группирующихся по времени в циклы. Для Западной Сибири Усов установил 54 тектонические фазы, объединенные в 8 циклов. Из них на палеозой приходится 38 фаз и 5 циклов. Разрезы Усов расчленял на формации, под которыми понимал комплексы отложений, отделенные друг от друга поверхностью перерыва, отвечающего проявлению определенной фазы тектогенеза.

Новые пути использования тектоностратиграфических методов для отдаленной межрегиональной и даже межконтинентальной корреляции могут возникнуть на основе новейшей гипотезы глобальной тектоники плит или мобильной литосферы. Согласно этой концепции новые участки океанической земной коры возникают в процессе раздвигания океанического дна, а излияния океанических базальтов более или менее одновременно формируют ультраосновных пород рифтовых зон. На основе этой гипотезы ее сторонники вновь поднимают вопрос о возможности глобального проявления тектогенеза. Вопрос этот требует дальнейшего изучения, и пока было бы преждевременным высказывать определенное суждение о пространственном распространении различных проявлений тектогенеза.

Несомненный интерес представляют результаты сравнительного анализа развития эвгеосинклинальных зон Урала и Аппалачей (Пейве, 1973). Автор показывает, что ведущим процессом развития этих складчатых систем был процесс превращения океанической коры в континентальную. При этом устанавливается совершенно сходная в обеих геосинклиналях последовательность или «стратиграфия» различных по характеру тектонических стадий. Однако проявление одних и тех же тектонических стадий в Аппалачах и на Урале несинхронно. Время проявления одних и тех же тектонических стадий в Аппалачах по сравнению с Уралом «смещено вниз на один тектонический этап». Иными словами, мы имеем здесь дело с гомотаксальностью (сходством порядка последовательности) тектонических стадий в обоих сравниваемых регионах при отсутствии их подлинной синхронности.

Что касается границ тектонических этапов, то они, по данным А. В. Пейве, для Урала и Аппалачей довольно хорошо коррелируются. Последнее приводит указанного автора к важному для нас выводу о глобальной синхронности тектонических этапов развития земной коры. Однако глобальность проявления отдельных тектонических фаз, по мнению

А. В. Пейве, пока не может быть доказана. Отсюда следует, что на данной стадии изученности рассматриваемой проблемы придавать глобальное значение частным проявлениям тектонических движений, например угловым несогласиям, было бы преждевременно. Однако устанавливаемая А. В. Пейве синхронность главных тектонических этапов развития земной коры на разных материках, несомненно, заслуживает большого внимания, тем более что она находит подтверждение и в других данных.

Подводя итоги, можно наметить следующие выводы.

1. Тектоностратиграфические методы имеют ведущее значение для стратиграфии докембрийских (криптозойских) отложений. Установление местных подразделений докембрия высокого ранга (комплексов, серий) базируется на тектоническом подходе, т. е. на выявлении несогласий, фиксирующих проявления тектонических движений и интрузивного магматизма, имевших место в промежутках времени между этапами формирования супракрустальных толщ. На разных докембрийских этапах геологического развития Земли диастрофические процессы проявлялись через весьма длительные промежутки времени. При этом существенно, что докембрийские циклы проявляются в общих чертах одновременно на всей земной поверхности, но имеют при этом в отдельных ее участках разное выражение и разную интенсивность. Это является следствием большой длительности диастрофических циклов докембрия и суммирования отдельных тектонических фаз этих циклов, которые проявляются локально в виде единого «почти глобального» несогласия. При этом обычно на границе крупных подразделений докембрия отмечается только одно угловое несогласие. Это отличает разрезы докембрийских отложений от фанерозойских, в которых, как правило, фиксируется несколько несогласий, отвечающих отдельным фазам одного диастрофического цикла.

Диастрофические циклы докембрия можно использовать в качестве границ крупных стратиграфических подразделений, учитывая огромную продолжительность соответствующих им этапов эволюционного относительно спокойного развития.

2. Для фанерозоя тектоностратиграфические методы утрачивают ведущую роль. Это обусловлено рядом обстоятельств. Прежде всего, как свидетельствуют данные абсолютной геохронологии, общий для всего земного шара ритм тектонических движений в фанерозое становится сильно учащенным по сравнению с докембрием и осложняется многочисленными дополнительными диастрофическими импульсами. Это существенно усложняет использование тектонических методов для стратиграфии фанерозоя. Тектонические движения, даже крупного масштаба, проявляются не повсеместно и не представляют собой кратковременных эпизодов, а растянуты во времени. Это ограничивает возможность надежного использования тектоностратиграфических методов для отдаленной межрегиональной и тем более глобальной корреляции.

Тектоностратиграфические методы для ограниченных территорий дают возможность устанавливать границы стратиграфических подразделений с большой точностью, иногда даже превышающей точность границ, проводимых на основе биостратиграфических данных. Однако установление самих стратиграфических подразделений и их геологического возраста не может быть осуществлено только на основе диастрофизма и требует обязательного использования литолого-стратиграфического и палеонтологического методов. За последним в этих случаях сохраняется роль контролирующего метода.

4.3.2. Метод сопоставления на основе стратиграфических перерывов

В соответствии с принимаемым нами принципом неполноты геологической летописи значительная часть геологического времени не отражена в разрезах осадочных толщ отдельных участков земной коры, а приходится на перерывы. Метод исходит из того, что отложения, заключенные между сходными стратиграфическими перерывами, должны быть одновозрастными.

Несогласие, или несогласное залегание, характеризует пространственные и исторические соотношения разновозрастных преимущественно слоистых отложений. При несогласии более молодые отложения отделяются от более древних поверхностью размыва или перерыва в осадконакоплении. Несогласие возникает в том случае, если под воздействием тектонического движения участок земной коры сначала выводится из зоны осадкообразования и может подвергаться процессам денудации, а затем опускается, и на нем отлагаются более молодые осадки. Несогласия могут возникать и без участия тектонических движений при размывании осадков придонными течениями в результате подводных оползней и других причин.

Под перерывом в осадконакоплении понимается интервал времени, в течение которого на том или ином участке земной поверхности осадки не накапливались. Продолжительность перерывов колеблется от краткого промежутка между двумя процессами, происходящими без существенного изменения общего режима в области осадконакопления, до больших отрезков времени, вплоть до нескольких геологических периодов, соответствующих этапам крупных региональных поднятий. Перерывы могут сопровождаться размывом ранее образовавшихся осадков или даже мощных толщ осадочных пород, что приводит иногда к значительному увеличению провала геологической летописи.

В других случаях перерывы, особенно кратковременные, не сопровождаются размывом, а представляют собой лишь паузу в накоплении осадков.

Как указывал В. С. Яблоков (1973), перерывы обычно фиксируются в морском осадконакоплении. Они могут возникать с осушением площади

(континентальные или субаэральные) и без осушения (субаквальные). Реже наблюдаются перерывы между континентальными отложениями, например между двумя угленосными или красноцветными толщами.

Из приведенных определений несогласия и перерыва видно, что эти понятия сопряженные, но не являются синонимами. Термин «несогласие» или «несогласное залегание» выражает структурное соотношение слоев, а термин «перерыв» относится ко времени формирования несогласия. То есть «перерыв» характеризует процесс, действие, а «несогласие» – возникающую в результате этого процесса форму взаимоотношения слоев.

Некоторые авторы считают необходимым различать отдельные категории перерывов в зависимости от их масштаба. Так, наиболее крупные перерывы и несогласия нередко обозначают как «стратиграфические». Под стратиграфическим перерывом (несогласием) принято понимать нарушение стратиграфической последовательности в напластовании осадочных или вулканогенных толщ, обусловленное выпадением из разреза комплекса слоев, яруса, отдела или даже системы в каком-либо регионе, в результате чего более молодые отложения отделяются поверхностью размыва от подстилающих более древних отложений.

В. С. Яблоков (1973) считает, что почти все другие виды перерывов и несогласий представляют собой различные проявления стратиграфического несогласия. Исключение он, по-видимому, склонен делать лишь для «мелких» перерывов типа диастемы, для которой им предложено следующее определение: «Диастема – это наименьший перерыв из выявленных в данном разрезе, по времени соответствующий отложению одного слоя или небольшой пачки слоев (1–2 м)». Представляется, однако, более целесообразным, следуя Дж. Барреллу, обозначать термином «диастема» небольшие перерывы в разрезе, обусловленные моментами, в течение которых не происходило отложения осадков или имело место взмучивание и перемещение отложившегося материала. От истинных перерывов и несогласий следует отличать понятие, обозначаемое как «внутриформационное несогласие (перерыв)». Под этим термином следует понимать угловое несогласие, возникающее в сериях косослоистых пород. По существу, это «ложноугловое несогласие», принципиально отличное от постоянных несогласий и перерывов.

Существует целый ряд признаков, свидетельствующих о перерывах в осадконакоплении. В. Крумбейн приводит 42 таких признака, которые относятся к трем выделяемым им категориям: седиментологической, палеонтологической и структурной. Согласно В. С. Яблокову (1973) главными признаками перерывов в морском осадконакоплении являются следующие: 1) угловое несогласие с подстилающими породами; 2) поверхность размыва, обычно неровная, волнистая, срезающая нижележащие отложения на различную глубину; 3) коры выветривания; 4) признаки карстообразования и выветривания в отдельных горизонтах глинистых и песчаных пород; 5) поверхности напластования с трещинами усыхания; 6) прослои пород со

следами автохтонной корневой системы растений, ископаемые почвы; 7) прослой галек и конгломератов; 8) палеодолины и аллювиальные песчаные породы; 9) породы эолового происхождения; 10) ледниковые отложения; 11) резкая смена фауны, не обусловленная сменой фаций на данном участке.

Не всегда эти признаки, взятые в отдельности, совершенно однозначно свидетельствуют о наличии перерыва. Так, угловые несогласия могут быть связаны и с конседиментационными структурами. Небольшие размывы вызываются иногда подводными морскими течениями, а прослой галек и конгломератов могут иметь как континентальное, так и морское происхождение. И наоборот, в ряде случаев наблюдаются перерывы и несогласия, не сопровождающиеся конгломератами или галечниками. Поэтому для установления перерыва желательно обосновывать его не одним из перечисленных выше признаков, а совокупностью нескольких.

Особые трудности вызывает установление скрытых несогласий. В настоящее время накоплен обширный материал, свидетельствующий о широком распространении скрытых несогласий, нередко маскирующих выпадение из разреза больших стратиграфических интервалов. В одном из районов Подмосковского бассейна установлено залегание угленосных отложений средней юры на угленосных отложениях нижнего карбона. Никаких следов этого огромного перерыва по литологическим признакам не было обнаружено, и разный возраст двух угленосных толщ был выявлен по данным спорово-пыльцевого анализа. Палинологический метод позволил установить залегание среднеюрских глин на алевролитах верхнего девона в одном районе Воронежской антеклизы. По литологическим признакам граница между этими отложениями в керне не могла быть проведена, т. к. какие-либо признаки перерыва, кроме палеонтологических, отсутствовали.

Различные авторы предлагают разные классификации перерывов. И. А. Вылцан (1989) выделяет перерывы тектогенные, климатогенные и тектогенно-климатогенные. Тектогенные перерывы обусловлены перестройкой структурных планов в осадочных бассейнах в определенные фазы тектогенеза. Пробелы в осадконакоплении возникают над конседиментационными поднятиями или по краям бассейна. Выделяются угловые, географические (азимутальные) и эрозионные несогласия. Характерны базальные конгломераты. Вмещающие тела – от свиты, серии, отдела до системы и группы. Ранг перерывов – региональный (макропробел) или глобальный (мегапробел). Продолжительность – порядка $10^6 - 10^8$ лет.

Тектогенно-климатогенные перерывы возникают на границах малых стратиграфических тел – многослой (ритм), пакет, пачка, подсвета. Выражены скрытыми несогласиями – параллельными, извилисто-волнистыми, незначительными азимутальными и угловыми в складчатых областях. Ранг перерывов – локальный (пробел). Продолжительность – порядка $10^2 - 10^5$ лет.

Климатогенные перерывы возникают при климатических изменениях, влияющих на мобилизацию, механическую и химическую дифференциацию между пластами, слоями, слойками. Выражены в изменении зернистости, состава, окраски выше и ниже швов слойчатости, имеющих параллельный или волнистый характер (механический размыв при течении, волнении, при химическом растворении). Ранг перерывов – местные малоплощадные (паузы-диаастемы). Продолжительность – $10^{-4} - 10^2$ лет.

Согласно схеме, предложенной К. Данбаром и Дж. Роджерсом (1962), различаются: а) несогласное перекрытие слоистыми толщами пород фундамента; б) угловое структурное несогласие между слоистыми толщами; в) параллельное несогласие, предполагающее совпадение элементов залегания контактирующих толщ, наличие ясно выраженной эрозионной поверхности между ними и срезание ряда слоев нижней толщи; г) скрытое несогласие, сопровождающееся выпадением какой-либо части разреза (рис. 4). В отдельных случаях наличие такого несогласия может быть установлено биостратиграфическими методами, чаще же этого сделать не удастся, и перерыв фиксируется следами разрушения литифицированного осадка (ожелезнением, наличием мелких неровностей, сверлениями и следами прикрепления организмов). В основании толщи над поверхностью перерыва иногда наблюдаются примесь терригенного материала в карбонатных породах, переотложение частиц подстилающих отложений – аутигенные брекчии.

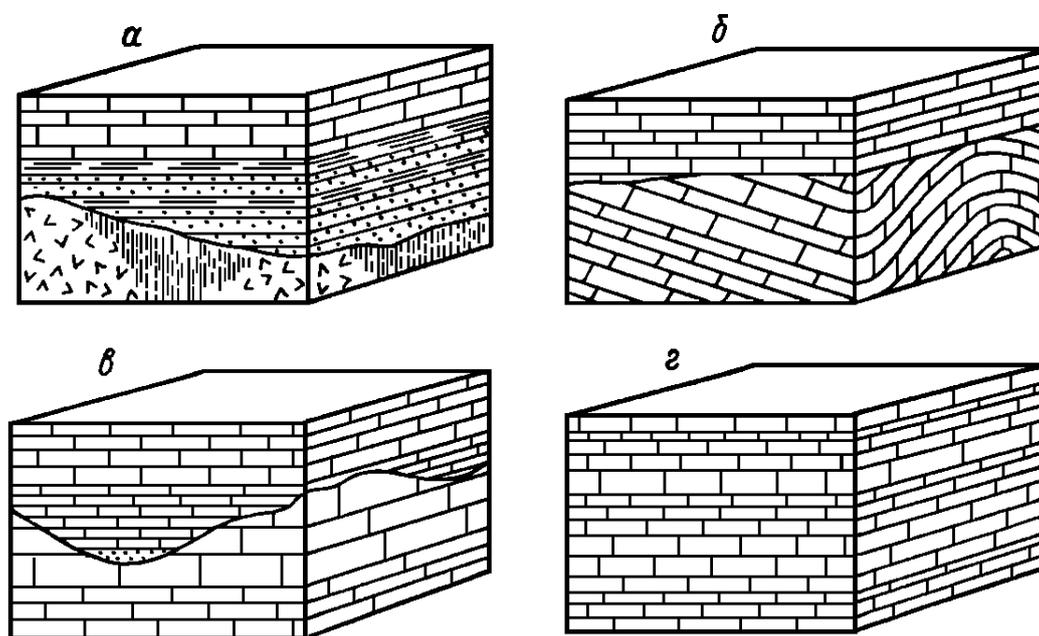


Рис. 4. Классификация перерывов по Данбару и Роджерсу (1962):
 а) несогласное перекрытие пород фундамента; б) угловое структурное несогласие; в) параллельное несогласие; г) скрытое несогласие

Длительность отмеченных перерывов различна, но в целом уменьшается от 1-го типа к 4-му. Различна также и степень диахронности поверхно-

стей перерыва: наибольшая в случае несогласного перекрытия пород фундамента и углового структурного несогласия и, как правило, наименьшая для параллельных и скрытых несогласий. По площади в пределах седиментационного бассейна может наблюдаться переход от одного типа несогласий к другому. Например, скрытые несогласия, характерные главным образом для центральных частей бассейнов, в краевых частях могут сменяться параллельными и т. д.

При наличии на изучаемой площади всех перечисленных типов несогласий границы серий и соответственно свит в их основании устанавливаются по перерывам 1, 2 и 3-го типов. В пределах серии на границах свит могут отмечаться параллельные несогласия, в редких случаях – угловые. Скрытые несогласия, как правило, служат основанием для проведения границ подсвит и пачек, а наиболее крупные из них (обычно такие, которые могут быть установлены палеонтологическими методами) являются границами свит.

Интересно, что некоторые стратиграфические уровни характеризуются особенно широким распространением скрытых несогласий. Это относится к границе перми и триаса, которая во всем мире характеризуется соотношениями рассматриваемого типа.

Существенный интерес представляет вопрос об условиях возникновения скрытых несогласий. Согласно М. Жинью (1952) подобные перерывы могут возникать в субаквальных условиях вследствие простого изменения режима течений. Если материал, взвешенный в воде, остается одним и тем же, то даже незначительного увеличения скорости течения достаточно, чтобы не только прекращалось осадконакопление, но и происходила слабая эрозия. Вслед за этим снова отлагаются морские осадки, и перерыв может быть обнаружен только при внимательном наблюдении деталей.

Н. Ньюелл (Newell, 1967) трактует возникновение скрытых несогласий как результат длительного устойчивого положения обширных выровненных областей шельфа на уровне, близком к базису эрозии. В таких условиях эрозия оказывается минимальной, а образующийся маломощный слой обломочного материала легко будет смыт трансгрессирующим морем, которое обнажит и сгладит подстилающую поверхность.

Приводимые указанными авторами различные причины, объясняющие условия возникновения скрытых несогласий, не исключают друг друга. В настоящее время трудно с достаточным обоснованием отдать предпочтение какой-нибудь из этих гипотез.

Из морфологических классификаций несогласий в настоящее время наиболее полной является классификация В. С. Милеева (1989), учитывающая соотношение слоистости в перекрывающем комплексе с поверхностью несогласия и со слоистостью в подстилающем комплексе (рис. 5).

Форма и положение поверхности несогласия		верхнего и нижнего		Географическое $A \sim A_3; \alpha_2 = \alpha_3; \alpha_1 > \alpha_3$ (параллельное) $\alpha_1 - \alpha_3 < 1^\circ$ $A_1 = A_3; \alpha_2 = \alpha_3$	Угловое $A_1 \sim A_3; \alpha_2 = \alpha_3$ $\alpha_1 \neq \alpha_3 > 1^\circ$	Азимутальное $A_2 \neq A_3; \alpha_1 \neq \alpha_3$
		верхнего и поверхности несогласия				
Субгоризонтальная плоскостная и неровная	облегание	конформное $\alpha_2 = \alpha_3$	1		6	11
		подобные	прямое $\alpha_2 > \alpha_3$	2a	7a	12a
			обратное $\alpha_2 < \alpha_3$	2б	7б	12б
	налегание $\alpha_2 \neq \alpha_3$	3	8	13		
	Наклонная субплоскостная и расчлененная	прилегание $\alpha_2 = 0; \alpha_2 = \alpha_2 \neq \alpha_3$	горизонтальное $\alpha_3 = 0$	4	9	14
			наклонные	прямое $\alpha_2 > \alpha_3$	5a	10a
обратное $\alpha_2 < \alpha_3$				5б	10б	15б

Рис. 5. Морфологическая классификация стратиграфических несогласий, по В. С. Милееву (1989):

1–5 – географические (параллельные): 1 – конформное облегание, 2 – прямое (а) и обратное (б) подобные облекания, 3 – налегание, 4 – горизонтальное налегание, 5 – прямое (а) и обратное (б) подобные облекания; 6–10 – угловые: 6 – конформное облекание, 7 – прямое (а) и обратное (б) подобные облекания, 8 – налегание, 9 – горизонтальное налегание, 10 – прямое (а) и обратное (б) наклонные прилегания; 11–15 – азимутальные: 11 – конформное облекание, 12 – прямое (а) и обратное (б) подобные облекания, 13 – налегание, 14 – горизонтальное прилегание, 15 – прямое (а) и обратное (б) наклонные прилегания

4.3.3. Метод сопоставления по сходству порядка напластования

Метод исходит из общего положения, согласно которому слои, чередующиеся в двух разрезах в одном и том же порядке, будут одновозрастными, при этом нижний является более древним, верхний – более молодым.

Применяется при изучении немых или бедных фауной толщ для приблизительного определения возраста. Особенно, если внутри есть какие-то охарактеризованные горизонты. С этого метода начинается стратиграфическое изучение площадей.

Существуют закономерности в напластовании: постепенное уменьшение зернистости терригенного материала вверх по разрезу в *трансгрессивных комплексах* и постепенное поглубение в *регрессивных*; понижение гипсометрического уровня речных террас от древних к молодым; чередование лёссов и почв в лёссово-почвенных комплексах и т. д.

Одинаковое чередование слоев в двух разрезах изучаемого бассейна может считаться одновозрастным, если они расположены на равном расстоянии от берега. Однако положение береговой линии обычно трудно определить точно, поэтому возможны ошибки. Метод широко распространен и часто комплексировается с палеонтологическими методами.

Следует заметить, однако, что последовательность и характер напластования в одной части региона не обязательно будут такими же в другой части региона и тем более в другом регионе.

4.3.4. Метод сопоставления на основе стратиграфической непрерывности пластов (метод маркирующих горизонтов)

В разных разрезах на определенной площади прослеживается непрерывность одного или нескольких пластов одинакового характера, которые принимаются за маркирующий горизонт. Прилегающие к нему в кровле и подошве отложения соответственно сопоставляются друг с другом. Обычно применяется при однообразных разрезах, когда маркирующие горизонты помогают их расчленить.

Примеры маркирующих горизонтов: донская морена на территории Донского ледникового языка, губковый горизонт в кампане Крыма, пепловые горизонты.

Пласты, отчетливо выделяющиеся во многих разрезах и прослеживающиеся на значительное расстояние, называются маркирующими.

Надо заметить, что некоторые маркирующие горизонты – базальные конгломераты, коры выветривания – имеют не одинаковый возрастной диапазон, скользящий по площади. Кроме маркирующих горизонтов, для корреляции иногда используются маркирующие поверхности. Примерами их могут быть стилолитовые швы в коньяке Крыма, горизонты мерзлотных деформаций в четвертичном покрове Русской равнины и т. д.

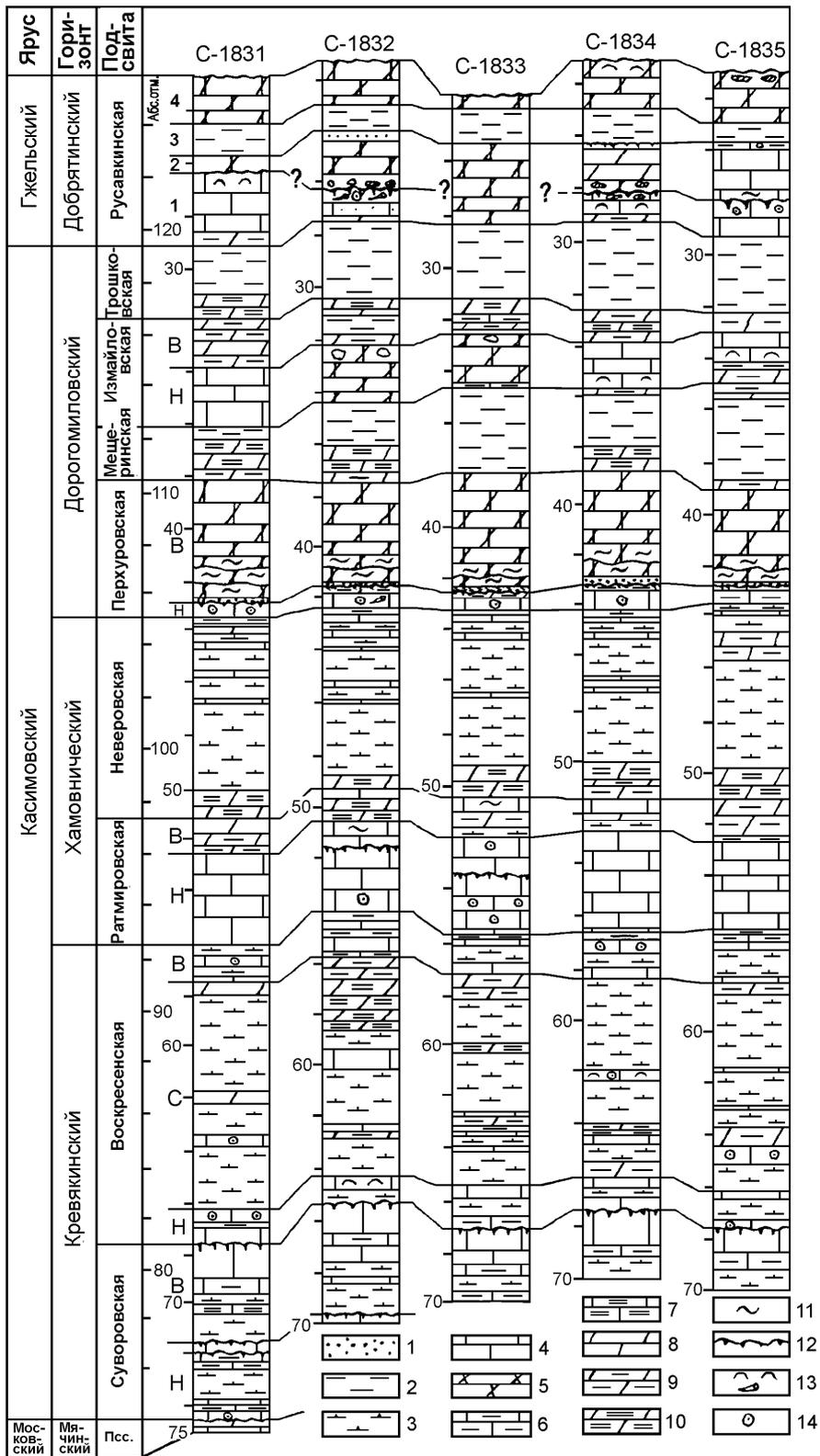


Рис. 6. Корреляция разрезов по литологическим признакам (Геоисторический..., 1999)

4.3.5. Сравнительно-литологический метод

Суть метода заключается в том, что изучаемый разрез делится на ряд слоёв, пачек и свит; установленные стратоны затем прослеживаются последовательно всё далее и далее, пока это возможно (рис. 6). Метод приемлем в пределах ограниченного района.

Под слоем понимается геологическое тело, сложенное литологически однородным материалом, ограниченное более или менее плоскими поверхностями наслоения. Однородность литологического состава в пределах слоя относительна. От подошвы слоя к его кровле могут наблюдаться постепенные изменения, например уменьшение гранулометрического состава от песчаного до алевритового, смена биоморфного известняка органогенно-детритовым и т. д. Кроме того, в связи с появлением локальных факторов могут встречаться прослой иного состава или структуры, например линзочки ракушняка в хемогенном известняке, возникновение которых обусловлено донными течениями, или прослой и линзы глин и алевролитов в русловом песчанике, связанные с существованием местных участков спокойного осадконакопления.

Мощность слоев может быть различна – от первых сантиметров до 5 м и более, но обычно не превышает первые метры. Различно и распространение их по площади – от сотен метров для континентальных отложений и до сотен километров для морских, особенно по простиранию фациальной зональности. Мощность прослоев незначительна (обычно доли и первые сантиметры). По площади они не выдержаны.

Главным в определении границ слоя является наличие четких поверхностей наслоения. Образование этих поверхностей связано в большинстве случаев с механизмом элементарных колебательных движений, проявляющихся во времени неравномерно. Накопление слоя отвечает относительно стабильному этапу осадконакопления, а образование поверхности наслоения – быстрому скачкообразному изменению условий седиментации. Эти изменения могут быть обусловлены либо сменой характера бассейна (например, осолонением его в результате изоляции от открытого моря), либо быстрой миграцией по площади фациальных зон в процессе передвижения береговой линии и, как частный случай, перерывами в осадконакоплении. Слоистость, обусловленную изменениями характера бассейна, Н. Б. Вассоевич (1950) назвал мутационной, а связанную с миграцией береговой линии – миграционной.

Помимо изложенной выше трактовки слоистости как текстуры осадочных толщ, т. е. способности делиться на слои, под слоистостью понимается также внутренняя текстура слоев, для которой Н. Б. Вассоевичем (1948) были введены специальные термины «слойчатость» и «слоеватость», к сожалению, широко не принятые до сих пор в практике геологических работ. Слойчатость представляет собой первично-горизонтальное или наклонное

расположение слойков и их серий в пределах слоя. Возникновение слойков обусловлено изменениями динамики осадкообразующих факторов и скорости течений, сезонных колебаний температур, водотока и т. п. Словатость проявляется в литологически однородных слоях и выражается в различной наклонной или горизонтальной ориентировке уплощенных компонентов породы: галек конгломератов, слюдистых минералов, растительного детрита, скелетных обломков организмов и др.

Учет слойчатости и словатости при стратиграфических исследованиях позволяет предвидеть степень выдержанности по площади тех или иных слоев, оценивать направленность фациальных изменений и, наконец, выделять местные подразделения по этим признакам. При изучении лагунно-континентальных толщ, например, мощные пласты косослоистых песчаников являются весьма непостоянным членом разреза, а ритмично построенные горизонтально-слоистые озерные, пойменные и лагунные отложения хорошо поддаются корреляции.

Особое значение при расчленении на слои имеет полнота сведений о разрезе. Даже для хорошо сопоставимых разрезов возможны разные варианты их стратиграфического расчленения (рис. 7).

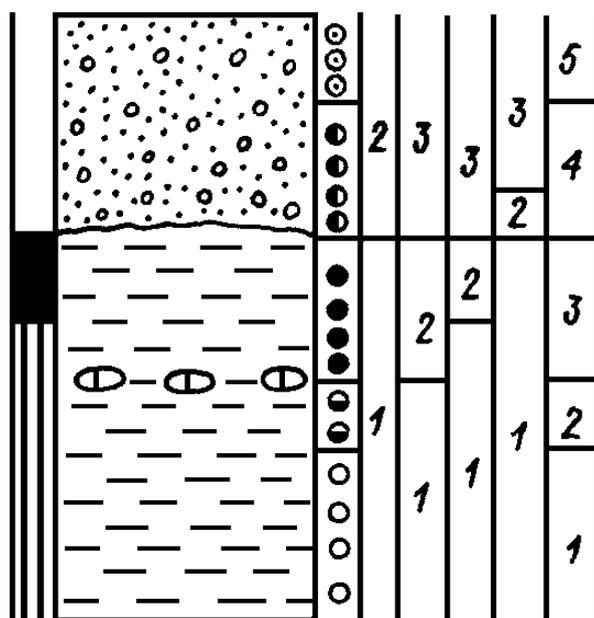


Рис. 7. Различные варианты расчленения разреза на слои (Степанов, Месежников, 1979)

Существует множество примеров, доказывающих возрастное скольжение границ с амплитудой от зоны до яруса и отдела. Но могут возникать и изохронные границы в условиях стабильной береговой линии бассейна. Литологические тела с относительно изохронными поверхностями формируются при быстром наступлении моря на выровненную поверхность.

4.3.6. Сравнительно-минералогический метод

Основной предпосылкой использования метода является представление о смене во времени источников терригенного материала. Состав минералов (прежде всего тяжелой фракции и в особенности прозрачных) должен указывать на состав разрушаемых пород. В свою очередь это означает, что осадочные породы определенного состава, образовавшиеся в течение рассматриваемого временного интервала, будут характеризоваться определенным минералогическим составом тяжелой фракции.

Эти предпосылки, однако, в геологической практике реализуются не столь прямолинейно по следующим причинам.

1. Размываться могут не только кристаллические массивы. Основным источником обломочного материала при формировании осадочных толщ фанерозоя служат более древние осадочные же толщи. Одни и те же минералы могут оказаться в слое и из размываемого во время его образования гранитного массива, и из эродируемого более древнего пласта. Таким образом, временные корреляции по терригенным компонентам не всегда являются достаточно обоснованными.

2. Формирующаяся осадочная толща может иметь не один, а несколько источников питания, и тогда минералогический состав сравнительно одно-возрастной свиты будет существенно меняться по площади.

3. Содержание акцессорных минералов существенно меняется в разрезе, и в различных фракциях песчано-алевритовых пород их колебания могут достигать очень больших величин – соответственно 0,2–42 % и 3–60 %. Тонкие породы оказываются обогащенными менее устойчивыми минералами, а крупнозернистые – устойчивыми метаморфическими минералами.

Таким образом, использование минералогических характеристик для сопоставления разрезов должно производиться с соблюдением ряда условий. Прежде всего необходимо определение ареала той или иной минеральной ассоциации, что достигается путем составления для каждого временного интервала карт терригенно-минералогического районирования. Лишь после этого возможно использование минералогических анализов для сопоставления разрезов в качестве существенного дополнения к другим методам корреляции. Важно отметить, что корреляция по терригенным компонентам эффективна при отнесении пород к какому-либо минералогическому горизонту, но она существенно менее ценна при обосновании и прослеживании границ. Результаты таких анализов оказываются достаточно эффективными при сопоставлениях изолированных выходов континентальных или бедных палеонтологическими остатками морских толщ. Однако при использовании всех этих данных следует учитывать их статистический характер и невозможность использования их в качестве основных при хроностратиграфических корреляциях.

В зависимости от особенностей эффективным оказывается использование различных минералогических коэффициентов – соотношений различных групп минералов (коэффициент выветрелости, коэффициент устойчивости и др.), что подробно излагается в монографии В. В. Добровольского (1966). Чаще всего при изучении опорных разрезов пользуются коэффициентом устойчивости, который вычисляется как отношение суммы устойчивых прозрачных минералов тяжелой фракции к сумме неустойчивых прозрачных минералов.

Кроме количественных соотношений терригенных минералов, изучаются также их *типоморфные особенности*, представляет интерес *морфоскопическое изучение поверхности кварцевых зерен* при большом увеличении под электронным микроскопом.

Анализ *аутигенных* минералов помогает реконструировать климат, ландшафтно-географические условия.

В континентальных обстановках в аридных ландшафтах образуются кальцит, гипс и другие соли, в гумидных – гидрокислы железа и марганца, вивианит, в перигляциальных – люблинит, глинистые пленки. В озерных водоемах – пирит, сидерит, пелитоморфный арагонит.

На шельфе также наблюдается климатическая зональность в распределении аутигенных минералов. В арктических морях – только сульфиды железа. В умеренной зоне – окислы и сульфиды железа и марганца (до 90 % в тонкой фракции). В аридных областях – хемогенные карбонаты, соли. Так хорошо известна последовательность выпадения минералов: кальцит → доломит → целестин → гипс → галит → соли магния. У тропических островов – карбонаты, фосфаты и др.

В стратиграфических целях изучается весь ряд обломочных пород: кроме псаммитов, также псефиты, валуны и глинистые минералы. Состав грубообломочных пород в моренах, в базальных горизонтах указывает на пути переноса материала и источники питания.

При изучении глинистых минералов важно установить их аллотигенное или аутигенное происхождение. Существует определенная стратиграфическая приуроченность глинистых минералов в седиментационных бассейнах, которая и является предметом изучения. В неогене и квартере образование глинистых минералов происходит в основном в почвах и корах выветривания и в значительной степени контролируется климатическими условиями.

При изучении четвертичных субаэральных отложений большую информацию дает также анализ шлифов с ненарушенной текстурой.

4.3.7. Сравнительно-геохимический метод

В основе метода лежит представление о всеобщем рассеянии элементов в горных породах земной коры, на фоне которого повышенная концен-

трация отдельных элементов является закономерным (хотя и необязательным) результатом геохимической миграции атомов.

Характер миграции атомов, или их геохимическая подвижность, зависит от физико-химических свойств элементов и внешних условий их миграции. Поскольку физико-химические свойства элементов практически постоянны, геохимическая специализация различных типов осадков, выраженная в различной тенденции элементов к накоплению, контролируется почти исключительно внешними условиями миграции. При равных физико-химических условиях каждый элемент будет занимать в ряду миграционной способности строго определенное положение. Изменение внешних физико-химических условий влечет за собой изменение миграционной способности элементов и перестройку ряда их геохимической подвижности. Ряд геохимической подвижности элементов в пределах данного геологического тела всегда отражает условия формирования этого тела. Отсюда следует принципиальная возможность выявления в разрезе на основе геохимических исследований различных по условиям формирования типов отложений и прослеживания этих отложений по латерали.

Геохимический метод играет вспомогательную роль. Он наиболее эффективен при расчленении и корреляции внешне однородных осадочных толщ, слабо охарактеризованных органическими остатками. К ним относятся морские сульфатно-карбонатные, кремнистые, вулканогенно-кремнистые, некоторые обломочные и другие отложения.

Начинать геохимическое изучение необходимо с наиболее полных и хорошо изученных в стратиграфическом отношении опорных или типовых разрезов. Получение геохимической характеристики всех картируемых стратиграфических подразделений по типовым разрезам является необходимой основой для корреляции с ними менее изученных и менее полных разрезов. Геохимические характеристики стратиграфических подразделений должны сопровождаться описанием других признаков (состава, характера слоистости и т. д.).

В геологической практике наиболее распространен валовый силикатный анализ горных пород на 12 компонентов, с его продолжением – спектральным анализом на 30 элементов. Реже используется анализ отдельных фракций, например глинистой фракции $< 0,001$ мм, анализ органического вещества, измерение химического состава, рН и еН поглощенных и водорастворимых катионов.

Геохимическое изучение осадочных пород включает в себя: 1) опробование; 2) подготовку проб к аналитическим исследованиям и аналитическое определение содержания элементов в пробах; 3) математическую обработку первичной геохимической информации и интерпретацию полученных результатов.

Корректность *опробования* в значительной мере определяет достоверность конечных результатов геохимического изучения. Рекомендуемая

средняя частота отбора геохимических проб по разрезам составляет 2–4 м. Однако необходимо учитывать, что равномерное распределение точек пробоотбора по разрезу в общем случае методически неверно. Точки пробоотбора должны сгущаться на участках сложного переслаивания и могут быть разрежены при опробовании мощных макроскопически однородных осадочных толщ. Опробовать необходимо все разновидности пород. Пробы следует отбирать из литологически однотипных частей разреза (предпочтительнее из нижней части слоев).

При послойном геохимическом опробовании не следует ограничиваться отбором только одной пробы из слоя, т. к. существенный интерес (например, при изучении характера цикличности) может представлять изменение геохимической характеристики породы в пределах слоя. Если мощность опробуемого слоя превышает 1,5–2 м, пробы рекомендуется отбирать из его нижней, средней и верхней частей. При частом однообразном переслаивании нескольких типов пород пробы отбирают из каждого типа породы, повторяя такое опробование через 2–4 м. Если границы между изучаемыми стратиграфическими подразделениями недостаточно четки, опробовать рекомендуется прежде всего центральные части этих подразделений. Пробы следует брать из наименее выветренных пород. Оптимальная масса штучной пробы 50–100 г. Опробование должно сопровождаться взятием образцов и сколков на шлифы для последующего изучения минерального состава породы, степени и характера ее изменения.

Поскольку при обработке первичной геохимической информации используются методы математической статистики, минимальное число проб из каждого выделенного стратиграфического подразделения должно быть не менее 30. В противном случае надежность получаемых результатов резко снижается.

Подготовка к аналитическим исследованиям. После предварительного дробления (обычно до 2 мм) и истирания до размера 0,07 мм проба должна быть тщательно отквартована и сокращена. Этими операциями обеспечивается необходимая представительность всех параллельных навесок (в том числе и контрольных) при аналитическом определении концентраций химических элементов в пробе. Для некоторых типов пород (например, сульфатных, карбонатных, обломочных), химический состав которых сравнительно беден, более информативна не валовая геохимическая характеристика, а геохимическая характеристика какого-либо минерального компонента (например, глинистой фракции). В этом случае в подготовку пробы к аналитическим исследованиям входит и выделение из нее данного компонента.

Для *аналитического определения* содержания элементов в породах и минералах наиболее широко используются различные полуколичественные и количественные методы эмиссионного и рентгеноспектрального анализов. В последние годы все более широкое применение находит и количественный атомно-абсорбционный анализ некоторых элементов (K, Na, Pb, Ca,

Mg, Sr, Au и др.). Полученную этими методами первичную геохимическую информацию рекомендуется регистрировать на магнитном носителе и статистически обрабатывать по унифицированным программам с использованием ЭВМ. Простейший графический способ изображения геохимической информации – в виде кривых распределения по разрезу концентраций отдельных химических элементов (Юдович, 1981).

Широко используются геохимические коэффициенты в палеогеографии. Например, CaO/MgO – чем выше, тем было теплее.

В задачи *математической обработки* первичной геохимической информации входит прежде всего изучение корреляционно статистических связей химических элементов и выявление на этой основе характерных ассоциаций и рядов геохимической подвижности элементов. Геохимическая подвижность элементов может быть изучена с помощью многократного корреляционного статистического анализа. Этот метод позволяет уточнить границы выделяемых стратиграфических подразделений и установить связь геохимической характеристики с условиями формирования каждого из этих подразделений, а следовательно, и с типичными для него визуально наблюдающимися признаками. Для расчленения и корреляции осадочных толщ используются и другие методы математической обработки первичной геохимической информации (метод «скользящего окна», тренд-анализ, факторный анализ и т. д.).

Интерпретация результатов математической обработки первичной геохимической информации заключается в первую очередь в сравнительном изучении геохимических характеристик выделенных стратиграфических подразделений. Если эти характеристики достаточно отчетливо различаются и хорошо прослеживаются в пределах рассматриваемой территории, они могут быть использованы для обоснования и корреляции картируемых стратиграфических подразделений.

Использование геохимических данных существенно ограничивается фациальной изменчивостью и катагенетическим преобразованием пород.

4.3.8. Сравнительно-фациальный метод

Руководствуясь методом фациального анализа можно произвести сопоставление разрезов, представленных резко различными породами, если имеется возможность в промежуточных разрезах установить направление и характер изменения отдельных пластов или пачек пластов.

Возможны ошибки из-за следующих обстоятельств.

1. Выпадение в разрезе пластов, нередко мощных, что бывает трудно установить в условиях мелководных фаций.

2. Тенденции изменения фаций в разных бассейнах различаются.

Сопоставление на основе фациального анализа – основной метод разработки региональных и местных стратиграфических схем. Например, сопостав-

ляются наиболее и наименее карбонатные интервалы разрезов. В глинисто-терригенных разрезах более мощные песчаные интервалы обычно падают на регрессивные стадии.

4.3.9. Метод изучения цикличности (ритмостратиграфия)

Ритмостратиграфия – это расчленение и сопоставление осадочных толщ, основанное на использовании неоднократного чередования в разрезах

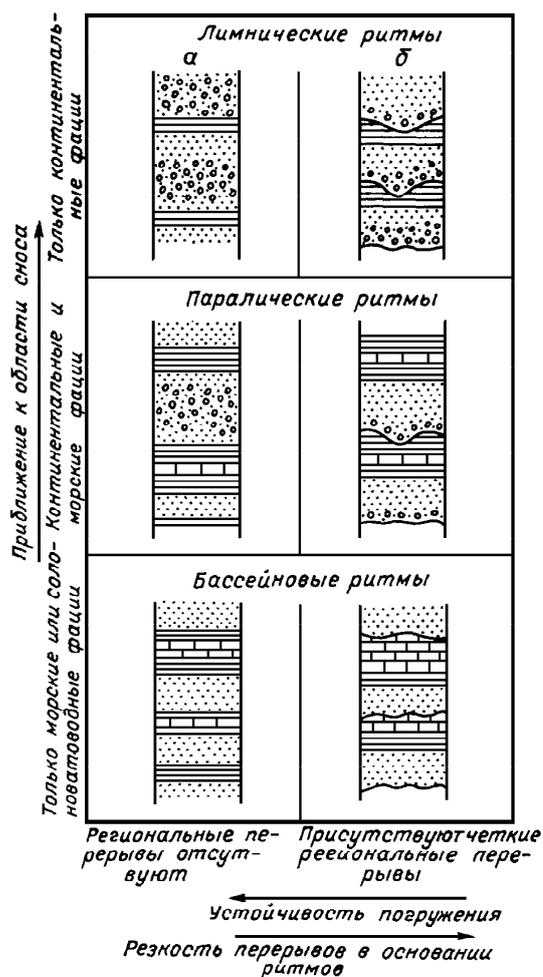


Рис. 8. Классификация ритмов Л. Б. Рухина (1955)

площадях, что в свою очередь обусловлено региональной, иногда даже планетарной, природой этого явления, связанной с изменениями климата, эвстатическими колебаниями уровня моря, тектоническими колебательными движениями и проявлением фаз складчатости.

Ритмостратиграфия является хорошо разработанным научным направлением и основывается на большом количестве примеров ритмичности из разных толщ различных регионов земного шара. При этом размеры мощно-

сходных явлений или признаков. Главным при выделении ритмостратиграфических подразделений является сама ритмическая природа толщ.

Основой применения цикличности для расчленения осадочных толщ служит четкость границ циклично построенных толщ, выражающаяся в зависимости от масштабов проявления цикличности в наличии региональных перерывов, фаз складчатости и магматизма, приостановке осадконакопления, резкой смене вещественного состава, смене трансгрессивной или регрессивной направленности процессов седиментации и т. д.

Весьма существенная роль цикличности для корреляции определяется относительной синхронностью циклитов на значительных

стей ритмов колеблются от долей миллиметра у озерных ленточных глин (варв) до десятков метров в разрезах угольных бассейнов. Самый стандартный ритм (цикл) – это чередование песок – глина – известняк – глина – песок, что отражает развитие трансгрессии, ее максимум и регрессию. Для таких ритмов были предложены наименования циклотемы, циклолита, циклосомы, циклокомплекса, но наиболее принятым в отечественной литературе является предложенное Ю. Н. Карогодиным (1978, 1980) наименование седиментационного ритма циклитом.

Одна из самых ранних классификация ритмов Л. Б. Рухина (1955) включает бассейновые, паралические и лимнические ритмы (рис. 8), каждый из которых содержит разрезы с четко выраженными перерывами, и относительно непрерывные. В зависимости от устойчивости прогибания полнота и состав ритмов могут меняться. Имеются многочисленные примеры выпадения отдельных элементов ритмов или их фациальных замещений.

Природа ритмичности находится в тесной связи с длительностью образования и мощностью ритмов. В отношении варв все исследователи единогласны в том, что их образование связано с годовыми климатическими циклами; образование флиша связано с совместным влиянием мутьевых потоков и донных течений. Более крупные ритмы естественно связывать с комбинированным влиянием крупных поднятий и опусканий и более мелких осцилляций.

Закономерная смена пород в разрезах дает большие возможности геологам для сопоставления этих разрезов. Для наиболее мелкой ритмичности типа варв и флиша наиболее надежным является сопоставление с помощью прослеживания отдельных аномальных по своей мощности ритмов. Значительно сложнее широкое прослеживание крупных ритмов. Здесь на первое место выступает знание общих закономерностей ритмичности в отдельных ритмах и выделение в некоторых из них характерных прослоев известняков или пластов угля, т. е. уровней наибольшей трансгрессии или наибольшей стабилизации обстановки седиментации.

Изучение ритмичности существенно облегчает сопоставление разрезов. Вместе с тем попытки создания общей ритмостратиграфической шкалы, определения с помощью понятий ритмостратиграфии таких подразделений, как системы, отделы и ярусы, вряд ли реальны и методически не оправданы, поскольку в задачу общей шкалы входит регистрация продолжительности всех геологических явлений, в том числе и регистрация продолжительности различного рода ритмов в осадочных толщах.

Современные классификации циклитов основаны на направленности изменения гранулометрического состава. В классификации Ю. Н. Карогодина (1980) выделяются: *проциклиты* – уменьшение зернистости вверх по разрезу, *рециклиты* – увеличение крупности вверх по разрезу, *про-рециклиты* – сначала уменьшение, а потом увеличение крупности вверх по разрезу, *ре-проциклиты* – увеличение, а потом уменьшение крупности грансостава вверх по разрезу (рис. 9).

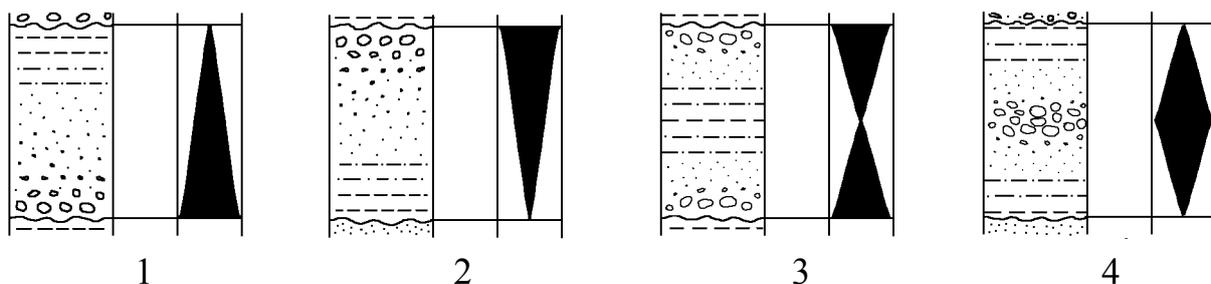


Рис. 9. Циклиты в классификации Ю. Н. Карогодина (1980):
1 – проциклит, 2 – рециклит, 3 – про-рециклит, 4 – ре-проциклит

Н. В. Мельников (1981) в своей классификации отражает степень симметрии и сохранности частей циклов (рис. 10). Целые циклиты могут быть симметричными, регрессивно-трансгрессивными, трансгрессивно-регрессивными, трансгрессивными и регрессивными. Неполные циклиты: регрессивно-трансгрессивный, трансгрессивный, трансгрессивный с размытой верхней частью. Бескорневые циклиты: регрессивно-трансгрессивный, неполно регрессивно-трансгрессивный, трансгрессивный, трансгрессивный с размытой верхней частью.

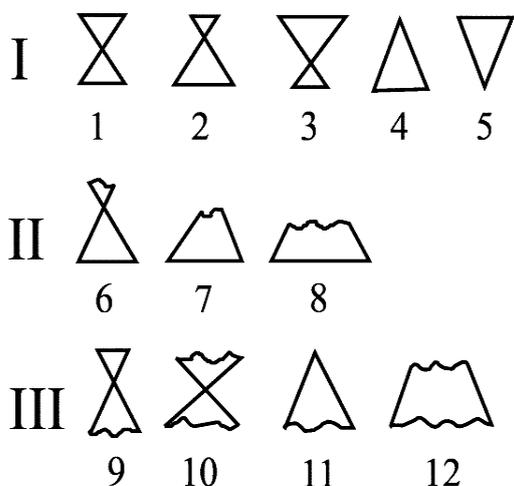


Рис. 10. Типы циклитов, по Н. В. Мельникову (1981):

1–5 – целые циклиты: 1 – симметричный, 2 – регрессивно-трансгрессивный, 3 – трансгрессивно-регрессивный, 4 – трансгрессивный, 5 – регрессивный; 6–8 – неполные циклиты: 6 – регрессивно-трансгрессивный, 7 – трансгрессивный, 8 – трансгрессивный с размытой верхней частью; 9–12 – бескорневые циклиты: 9 – регрессивно-трансгрессивный, 10 – неполно регрессивно-трансгрессивный, 11 – трансгрессивный, 12 – трансгрессивный с размытой верхней частью

Группа целых циклитов образуется в эпохи опускания при долгопериодических колебательных движениях, трансгрессивно-регрессивные и регрессивные циклы – в эпохи стояния и подъема. Наиболее часто встречаются регрессивно-трансгрессивные, реже – симметричные циклиты. Неполные циклиты формируются в периоды, когда скорость накопления осадков выше скорости опускания территории. Бескорневые циклиты – в начальные эпохи опускания после региональных перерывов. Обычно это первые циклиты.

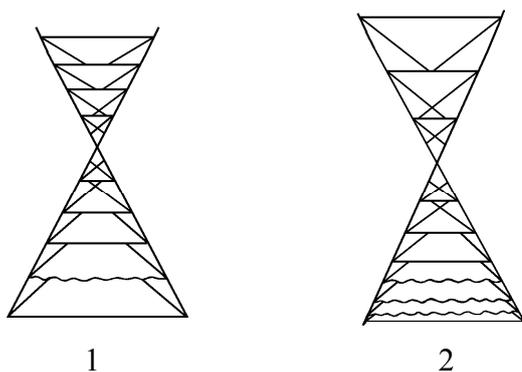


Рис. 11. Типы циклокомплексов:
1 – при постоянной скорости осадконакопления, 2 – при нарастающей скорости осадконакопления

Циклиты могут быть объединены в циклокомплексы (рис. 11). При постоянной скорости осадконакопления мощности циклов, слагающих комплекс, будут примерно одинаковыми. При нарастающей скорости осадконакопления мощность циклитов из основания комплекса будет наименьшей, а вверх по разрезу начнет увеличиваться.

Иерархическая система циклов и соответственно циклитов может вводиться

указанием порядков (I, II, III и т. д.), нумерацию которых удобнее всего вести от наименьших единиц (элементарных циклитов) к более крупным. Такая система обозначений хорошо определяет начало отсчета. Для этой же цели могут применяться приставки: микро-, мезо-, макро-, мега-, магнациклы (циклиты). Ритмитами целесообразно называть равномерно повторяющиеся одинаковые наборы пород, примером которых могут служить флиш, ленточные глины (варвы), чередование сезонных слоев в галогенных формациях и т. п.

В отложениях фанерозоя выделяется до девяти порядков циклитов. Однако объемы циклитов одного и того же ранга, выделяющиеся для разных типов отложений, не совпадают. Так, например, циклиты I порядка угленосных отложений соответствуют примерно циклитам IV порядка во флишевых формациях и т. д., что необходимо учитывать при геологической съемке.

Циклостратиграфические подразделения предполагают существенную разнофациальность отложений в вертикальном разрезе и не могут отождествляться с картируемыми стратиграфическими единицами, а являются, главным образом, инструментом для их выделения и прослеживания. В этой связи неправомерно выделение ритмосвит, ритмоярусов и пр.

Циклиты I порядка (микроциклиты) представляют собой наименьшие элементарные подразделения, которые могут быть определены как однократное, не повторяющееся по направленности изменений сочетание слоев нескольких типов пород. По строению они могут быть симметричными или асимметричными, по соотношению фаций – регрессивными, трансгрессивными и однородными. Регрессивными являются циклиты, у которых верхняя часть формировалась в условиях, более близких к континентальным, чем нижняя, у трансгрессивных – наоборот. Однородными называются циклиты,

образование которых происходило в пределах одной фации. Мощность элементарных циклитов составляет десятки сантиметров – первые метры, в угленосных толщах – 3–17 м, но может достигать и первых десятков метров. Границы элементарных циклитов целесообразно проводить по наиболее четким рубежам, например по перерыву или при остановке осадконакопления перед трансгрессией в морских карбонатных толщах, по укрупнению кластического материала в начале регрессии или по размыву в основании аллювиальных песчаников в циклитах угленосных толщ и т. д.

В стратиграфическом отношении изучение элементарных циклитов – их состава, строения и изменений по разрезу – является материалом для выделения более крупных, картируемых подразделений и особенно важно для флишевых, прибрежноморских карбонатных и континентальных терригенных толщ. Сами по себе элементарные циклиты могут служить в ряде случаев хорошими маркирующими горизонтами. В частности, по неповторимости деталей состава и последовательности слоев отдельные горизонты бентонитов могут быть индивидуализированы и прослежены на сотни километров через ряд фациальных зон. На десятки километров прослеживаются аномальные по мощности элементарные ритмы во флишевых отложениях и т. д.

Циклиты II порядка (мезоциклиты) состоят из набора микроциклитов или нескольких пачек сравнительно однородных пород с определенной направленностью их изменений. Например, выделение мезоциклитов в угленосных толщах основано на чередовании различных фациальных типов элементарных циклов: в основании – регрессивных, в средней части – однородных и в верхней – трансгрессивных; мощность их 30–70 м. В карбонатных породах силура Эстонии мезоциклиты имеют мощность от 8 до 34 м и ясно асимметричное строение: нижняя часть сложена мелководными известняками, верхняя – первичными доломитами. Выявление мезоциклитов имеет большое значение для крупномасштабного картирования. В местной схеме они в полном объеме выделяются в виде подсвет, слоев с географическими названиями или пакетов.

Циклиты III порядка (макроциклиты) образованы рядом мезоциклитов или набором относительно однородных по внутренней структуре толщ общей мощностью от 100 м до нескольких сотен метров на платформах и до 1 тыс. м в геосинклиналях. В основании их прослеживаются континентальные перерывы, в складчатых областях – фазы магматической деятельности. В местных стратиграфических схемах это свиты или подсвиты.

Циклиты IV (мегациклиты) и V (магнациклиты) порядков используются для выделения свит, главным образом, в паралических отложениях. Для других типов отложений эти и более высокие порядки цикличности следует учитывать в основном для целей реконструкции закономерностей геологического развития территорий и металлогенического анализа.

Корреляция отложений по циклам осадконакопления. Применяемая методика стратиграфической корреляции осадочных толщ по цикличности в значительной степени зависит от типа отложений и положения их в схеме фациальной зональности палеобассейнов и разработана с различной полнотой для разных типов толщ.

Общими положениями для корреляции всех мелкоритмичных толщ, сложенных сравнительно ограниченным набором повторяющихся в разрезе разновидностей пород (флиш, ленточные глины, соленосные отложения), являются петрографическая типизация отложений с учетом всех текстурных особенностей, статистический анализ состава и мощностей элементарных ритмов и степени их асимметрии.

Вторую группу осадочных толщ, для которых цикличность является основным методом корреляции, составляют угленосные паралические и континентальные отложения. Чрезвычайное разнообразие слагающих пород, их текстурных и структурных характеристик, как и условий образования, вызывает необходимость комплексного подхода к типизации повторяющихся интервалов разреза и сопоставлению последних по площади. Это находит отражение в названии методов корреляции: фациально-циклического и фациально-тектонического. Использование этих методов целесообразно также при изучении моласс и терригенных толщ межгорных впадин.

При сопоставлении разрезов паралических толщ наиболее устойчивым коррелятивным признаком является направленность изменений фаций в циклитах. Сопоставление проводится от наиболее крупных единиц к более мелким с первоочередным учетом маркирующих циклитов. К таковым в первую очередь относятся элементарные трансгрессивные циклиты завершающих стадий циклитов максимально высокого порядка. На разных расстояниях и в разных направлениях корреляционное значение имеют циклиты разного порядка. Следует учитывать также изменения масштаба и количества циклитов вкrest фациальных зон. Количество циклитов уменьшается как в глубь бассейна, так и при приближении к области сноса. При этом происходит переход по латерали одного порядка циклита в другой, например, мезоциклитов в циклиты I порядка.

Цикличность может быть скрытой в монотонных карбонатных, сульфатно-карбонатных, кремнисто-сланцевых толщах и может быть установлена по особенностям геохимического распределения элементов и соотношению породообразующих минералов.

4.3.10. Палеоклиматический метод (климатостратиграфия)

Одним из проявлений закона периодичности природных процессов и явлений является изменение климата, которое используется в стратиграфических целях. Хотя наиболее ранние следы ледниковых эпох известны еще с позднего протерозоя, наиболее отчетливое выражение они имеют в чет-

вертикальном периоде. Термин «климатостратиграфия» впервые предложил В. А. Зубаков (1967); под ним понималось «использование палеоклиматической интерпретации литолого-фациальных особенностей пород и состава органических остатков в качестве основы стратиграфического расчленения и корреляции отложений». Основным понятием в климатостратиграфии является климатический ритм – закономерная последовательность нескольких периодически повторяющихся во времени стадий климатического режима. каждая из них характеризуется определенным, свойственным ей соотношением теплообеспеченности и увлажненности. Эмпирически установлено, что во времени эти два важнейших климатических параметра описываются каждой волнообразной кривой и что максимум и минимум теплообеспеченности предшествуют максимуму и минимуму увлажненности. Поэтому климатический цикл состоит в первом приближении из четырех стадий: тепло – сухо (термоксеротическая), тепло – влажно (термогигротическая), холодно – влажно (криогигротическая), холодно – сухо (криоксеротическая), которые можно объединить в две полуволны: теплую и холодную, имея в виду теплообеспеченность, и влажную и сухую, имея в виду увлажненность (рис. 12).

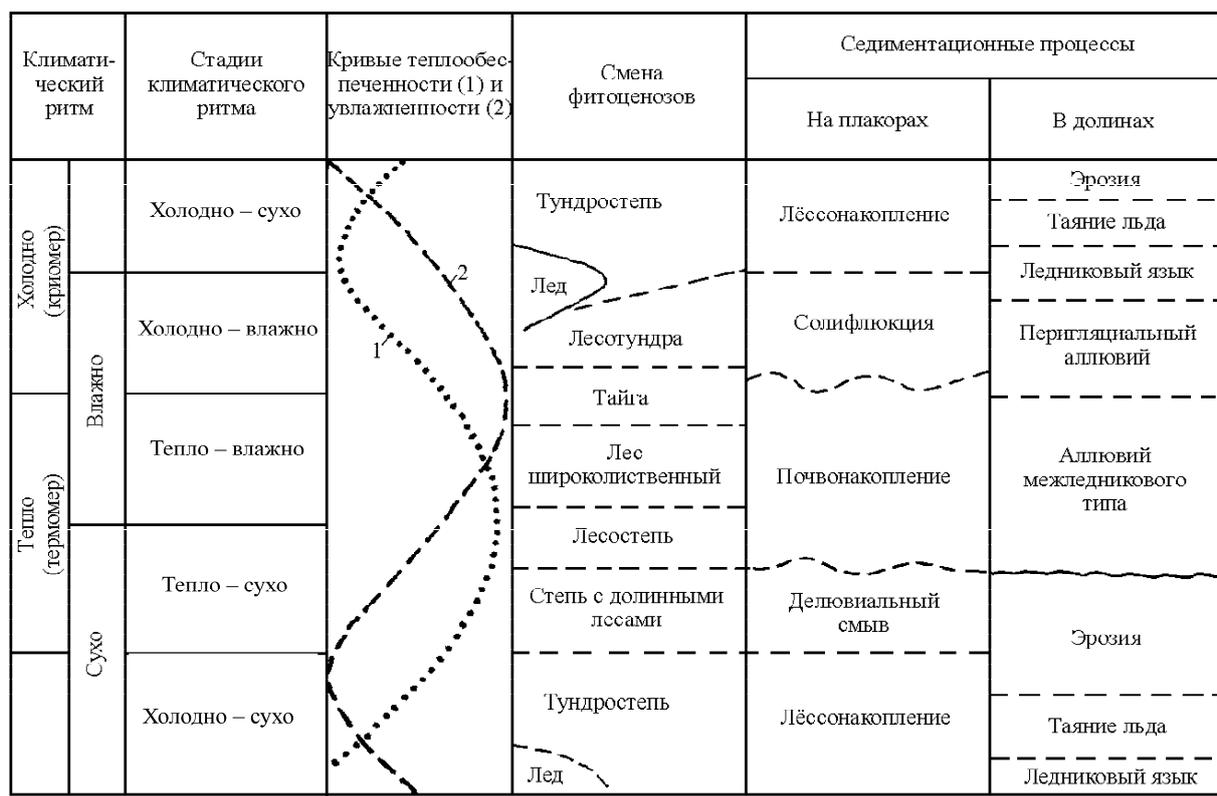


Рис. 12. Принципиальная схема климатического ритма в плейстоцене, по В. А. Зубакову (Практическая стратиграфия, 1984)

Процесс осадконакопления столь же тесно связан с климатическим режимом, как и с режимом тектонических движений. Климатическому ритму с его двумя полуволнами и четырьмя стадиями в разрезах будет отвечать

седиментационный или точнее климатоседиментационный цикл. Фиксирование его всеми возможными способами и методами есть первая и главная задача климатостратиграфии.

Климатостратиграфические реконструкции часто бывают осложнены существовавшей климатической зональностью. Если в высоких широтах главными в изменении климата являются колебания температур, то в средних широтах – колебания увлажненности. Это обстоятельство предопределяет существование в квартере нескольких палеоклиматических поясов, для каждого из которых характерен свой тип климатоседиментационной цикличности. Высокие широты – пояс с ледниковым типом седиментационной цикличности, с чередованием в разрезе морен и межморенных отложений; умеренные широты – пояс с перигляциальным типом цикличности, с чередованием лёссов и погребенных почв; средние широты – пояс с семиаридным типом цикличности, с чередованием в озерных бассейнах солевых и иловых горизонтов.

Климатический ритм, или полуритм, может выступать как картируемое стратиграфическое подразделение. Хотя их продолжительность бывает разной, стратиграфическое значение имеют ритмы от 1 тыс. лет до 1–2 млн лет, при этом в четвертичном периоде наиболее важны ритмы в несколько десятков тысячелетий.

Исходя из климатостратиграфического принципа расчленения четвертичного периода, в нем выделяются следующие основные стратиграфические подразделения, соответствующие главным климатическим полуритмам – оледенениям или межледниковьям: ступени (термохроны, криохроны) – в общей шкале, горизонты и климатолиты – в региональной шкале, свиты – в местной шкале.

Для палеоклиматического анализа используется весь комплекс методов, однако в последние годы наиболее интересные результаты были получены с помощью изотопного анализа океанических осадков. Он основывается на том, что в холодных водах содержание тяжелого изотопа ^{18}O выше, чем в теплых. Ц. Эмилиани нашел этим методом, что температура глубинных вод океана понизилась за последние 35 млн лет на $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ и что в разрезе донных осадков океана чередуются горизонты с большим и меньшим содержанием ^{18}O . В настоящее время установлено, что соотношение $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ в карбонатных скелетах во многом зависит от изотопного фона воды океана, который связан с объемом пресных льдов на поверхности Земли (в ледниковых щитах концентрация легкого изотопа ^{16}O относительно выше, чем в океане). Кривые колебаний $\delta^{18}\text{O}$ строятся в основном по керну глубоководных осадков океана и отражают как температуру океанических вод (донных и поверхностных), так и объемы глетчерного льда в разные интервалы времени. С помощью этого метода сейчас разработана общая для океана палеоклиматическая шкала кайнозоя, к которой можно привязывать местные и региональные климатостратиграфические схемы (рис. 13).

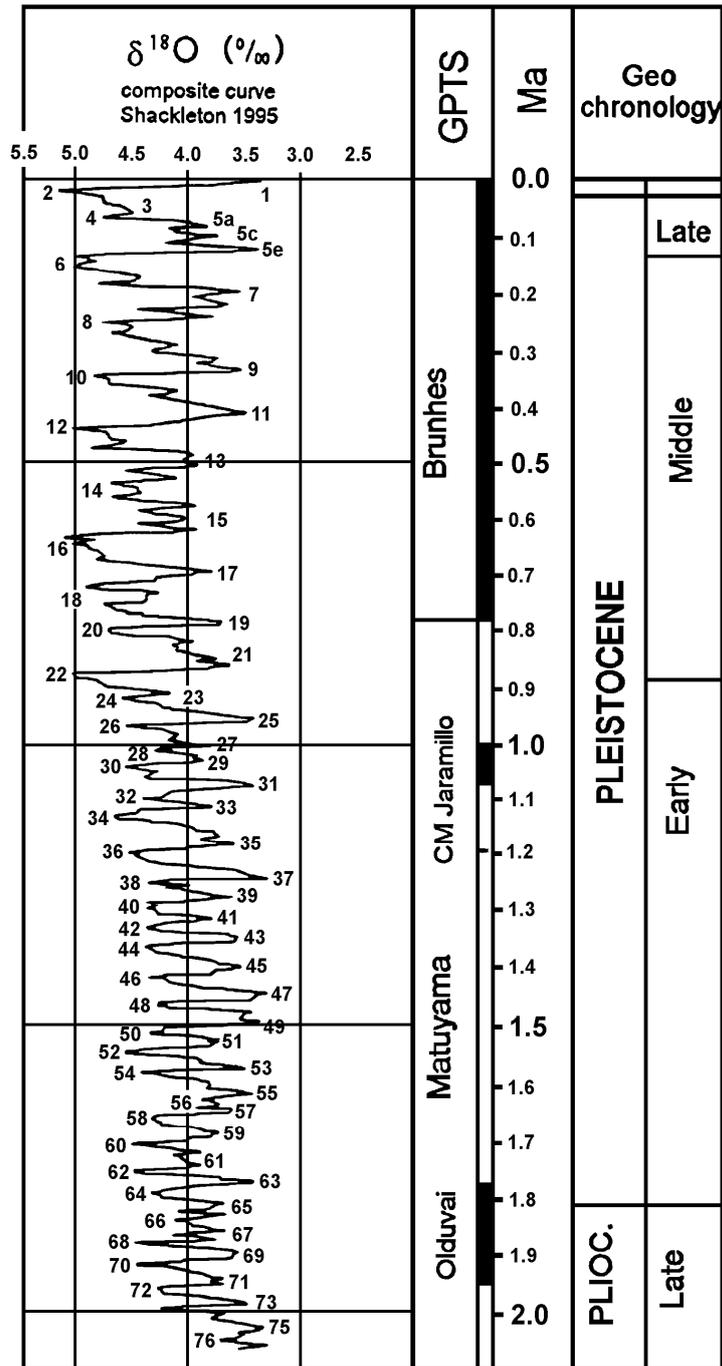


Рис. 13. Шкала изотопно-кислородных стадий четвертичных отложений Мирового океана (Berggren W. et al., 1995)

4.4. Группа геофизических методов

4.4.1. Каротажные методы

Основой методов является изучение с помощью опускаемого в скважину зонда изменений физических свойств горных пород.

Электрокаротаж скважин, один из наиболее широко распространенных методов, заключается в непрерывном измерении по необсаженному стволу скважины естественных (спонтанных) потенциалов (ПС), возникающих при взаимодействии промывочной жидкости и пластовых вод, а также кажущегося удельного сопротивления горных пород (КС), обусловленного преимущественно удельным сопротивлением поровых вод и отчасти сопротивлением самой породы (рис. 14).

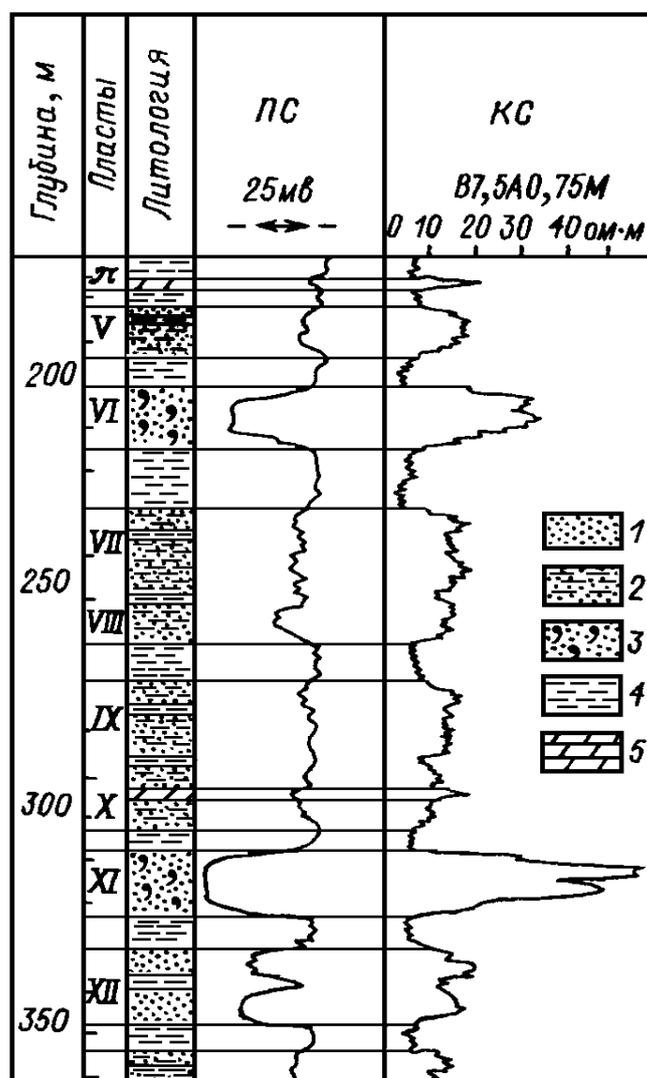


Рис. 14. Каротажная диаграмма: 1 – песок, 2 – глинистый песок, 3 – глауконитовый песок, 4 – глина, 5 – мергель

По диаграммам ПС и КС представляется возможным диагностировать основные типы терригенных, глинистых и карбонатных отложений, а также, что бывает очень важно, уточнять интервалы глубин и контакты слоев. Так, на кривой ПС глины образуют максимумы, пески и пористые известняки – минимумы. Значения КС прямо зависят от проницаемости породы и обычно максимальны у песков. Карбонатные породы также характеризуются максимумами на кривой КС, однако в силу зачастую неравномерного распределения пор и трещин относительные сопротивления их резко меняются по разрезу при сохранении литологического состава, а трещиноватые зоны в них иногда выделяются по снижению значений КС.

Значения КС горных пород зависят также от степени минерализации пластовых вод. Они значительно понижаются, если пласты содержат высокоминерализованные воды, вследствие чего сопротивления глин могут в отдельных случаях значительно превышать сопротивление водоносных песков.

Четкость каротажных диаграмм зависит от диаметра скважины: чем он меньше, тем отчетливее рисунок каротажных кривых, а также от степени уплотненности породы.

Радиоактивный каротаж основан на измерении естественного радиоактивного излучения осадочных пород (гамма-каротаж), а также на изучении взаимодействия источников радиоактивного излучения и горной породы. Наибольшее значение при интерпретации геологических разрезов получил гамма-каротаж (ГК), применяемый как в необсаженных, так и в обсаженных скважинах. Интенсивность гамма-излучения горных пород определяется содержанием в них тория, урана и радиоактивного изотопа калия ^{40}K . По значениям естественной радиоактивности осадочные породы делятся на три группы:

а) высокой радиоактивности; к ним относятся битуминозные глины, аргиллиты, глинистые сланцы, калийные соли, а также современные глубоководные осадки – глобигериновые и радиоляриевые илы;

б) средней радиоактивности – глины (морские и пресноводные), глинистые песчаники и известняки, мергели, глинистые доломиты;

в) низкой радиоактивности – ангидриты, гипсы, доломиты, известняки, песчаники, иногда каменные угли.

Повышение радиоактивности обычно бывает связано с более высокой адсорбционной способностью глинистых пород, с появлением монацита или других радиоактивных минералов в россыпях, зависит от увеличения плотности пород, а также от появления радиоактивных пластовых вод. В частности, повышенной радиоактивностью характеризуются высокоминерализованные хлоркальциевые воды.

Каротажные методы изучения скважин дают исключительно полные сведения о разрезе. Однако они не позволяют судить о таких параметрах, как цвет, текстура и минеральный состав породы. Поэтому совершенно

очевидно, что сопоставление по каротажу необходимо увязывать с данными по изучению керна.

Каротаж скважин показал свою высокую эффективность в хорошо изученных районах при внутрирегиональной корреляции разрезов. В малоизученном регионе предварительно нужно бурить параметрическую скважину с выходом керна. При этом реконструируется литологическая колонка разреза, которая далее расчленяется и коррелируется как в литологическом методе. Большую роль в корреляции разрезов играют маркирующие уровни, геологическую природу которых необходимо устанавливать.

4.4.2. Палеомагнитный метод

Палеомагнитология изучает явления палеомагнетизма, т. е. магнитное поле Земли геологического прошлого, закрепленное в своеобразных отпечатках этого поля – векторах естественной остаточной намагниченности горных пород. Исследуются распределение в пространстве и изменение во времени геомагнитного поля в геологическом прошлом, закономерности закрепления этого поля в горных породах и последующая история его отпечатков. Перспективы метода в решении различных геологических задач зависят прежде всего от разработки палеомагнитной (стратиграфической и хронологической) шкалы, основанной на истории геомагнитного поля.

Естественная остаточная намагниченность горной породы в общем случае включает ряд составляющих, возникших в разные моменты геологического бытия породы и в разной степени разрушенных к настоящему моменту. Намагниченность горной породы зависит не только от ее свойств и значения приложенного магнитного поля, но и от целого ряда факторов, таких как время, температура, механические напряжения, химические изменения.

Среди перечисленных факторов общим для всех горных пород является время. Поэтому всеобщее распространение имеет процесс намагничивания, обусловленный магнитной вязкостью. Остаточная намагниченность, возникающая после длительной выдержки пород в магнитном поле, называется вязкой остаточной намагниченностью J_v .

Все ферромагнетики, будучи нагретыми выше температуры Кюри, теряют свои ферромагнитные свойства. Если затем охладить такое вещество до комнатной температуры, то оно приобретет остаточную намагниченность, направление которой совпадает с направлением внешнего магнитного поля. Эта намагниченность называется термоостаточной $J_{тв}$, ее приобретают все магматические породы в процессе остывания. Высокие значения, синхронность породе и стабильность к внешним воздействиям делают величину $J_{тв}$ важным носителем палеомагнитной информации.

Как во время формирования, так и в дальнейшем в горной породе образуются и преобразуются ферромагнитные минералы. Если это происходит

при температуре ниже точки Кюри возникающего минерала, то в процессе роста его зерен появляется химическая остаточная намагниченность $J_{гс}$. Как химическая, так и термоостаточная намагниченность – характерные виды намагниченности метаморфических пород.

При образовании осадочных пород на магнитные частицы в процессе осаждения оказывает ориентирующее действие геомагнитное поле; частицы стремятся расположиться таким образом, чтобы их векторы намагниченности оказались направленными по полю. При обезвоживании осадка полученная ориентация частиц закрепляется, и осадок приобретает ориентационную остаточную намагниченность $J_{го}$. Другие виды намагниченности, хотя и могут присутствовать в горных породах, играют меньшую роль в палеомагнетизме.

Надежную информацию о древнем геомагнитном поле несет только та компонента J_n , возраст которой совпадает с возрастом породы, – первичная намагниченность J_n^o . По происхождению она может быть термоостаточной, химической и ориентационной. Поэтому главная задача любого палеомагнитного исследования – выделить первичную намагниченность (определить направление и модуль вектора J_n). Решение этой задачи ведется геометрическими, статистическими и магнитными способами.

При интерпретации полученных данных принимают модель, базирующуюся на трех основных гипотезах палеомагнетизма.

1. Горные породы при своем образовании намагничиваются по направлению геомагнитного поля времени и места их образования (гипотеза фиксации).

2. Приобретенная первичная намагниченность сохраняется (хотя бы частично) в породе в геологическом масштабе времени и может быть выделена (гипотеза сохранения).

3. Палеомагнитное поле является полем диполя, помещенного в центр Земли и ориентированного по ее оси вращения (гипотеза центрального осевого диполя).

В течение геологической истории геомагнитное поле претерпело множество инверсий (обращений полярности), а изменение координат полюсов является отражением движения литосферных плит относительно оси вращения Земли. При этом для каждой плиты могут быть построены свои траектории кажущегося движения полюса, которые могут быть совмещены лишь в рамках глобальных мобилистских реконструкций.

Многочисленные инверсии геомагнитного поля привели к тому, что разрезы осадочных и вулканогенных толщ оказались расчлененными на чередующиеся зоны прямой (N -зоны) и обратной (R -зоны) намагниченности.

Глобальность обоих явлений – дрейфа континентов и геомагнитных инверсий – служит предпосылкой применения палеомагнитного метода в стратиграфии, т. е. магнитостратиграфических исследований. Основой этих исследований служат палеомагнитные шкалы, например, последовательно-

сти координат палеомагнитных полюсов или шкалы геомагнитных инверсий, привязанные к общей стратиграфической шкале или изотопным датировкам. Так как геомагнитные инверсии – явление глобальное, должна быть точная стратиграфическая и хронологическая корреляция прямо и обратно намагниченных образований по всему миру. Поэтому шкала геомагнитных инверсий в принципе может быть построена как чисто хронологическая, если образцы горных пород, для которых определена магнитная полярность, удастся датировать физическими методами. Такая шкала называется магнитохронологической. Этот подход к изучению истории геомагнитных инверсий корректен только при условии, что продолжительность эпох, в течение которых сохраняется геомагнитная полярность, превосходит погрешности метода датировки. Построение магнитохронологической шкалы, и то только для позднего кайнозоя, стало возможным лишь с развитием калий-аргонового метода, позволившего очень точно датировать вулканогенные породы, главным образом основные лавы, магнитная полярность которых определена.

Наиболее известна шкала геомагнитной полярности для последних 4,5 млн лет, основанная на 150 определениях возраста и полярности лав в самых разных точках земного шара. Это классическая шкала Кокса, которая впоследствии была лишь уточнена и продлена до 7 млн лет. Продление магнитохронологической шкалы на более древние эпохи встречает трудности, которые связаны с возрастанием абсолютных погрешностей калий-аргоновых датировок. Таким образом, рубеж 5–7 млн лет, т. е. начало плиоцена, в настоящее время является нижней границей применимости чисто геохронологического метода построения шкалы геомагнитной полярности. Для исследования доплиоценовых инверсий пока реален только стратиграфический подход.

Вторым способом построения шкалы геомагнитной полярности является палеомагнитное изучение разрезов донных осадков океанов по керну скважин. По сравнению с изучением вулканогенных образований этот метод может дать более полную информацию об истории геомагнитных инверсий, особенно при изучении донных осадков глубоководных частей Мирового океана, не подверженных воздействию мутьевых потоков. Наиболее длинные колонки позволили проверить и уточнить шкалу Кокса и продолжить ее до начала неогена.

Третий способ прослеживания истории геомагнитных инверсий – это изучение линейных магнитных аномалий на океанах и построение профилей вкрест простиранья этих аномалий. Интерпретация таких профилей дает последовательность прямо и обратно намагниченных аномалиеобразующих тел, которые в соответствии с концепцией разрастания океанического дна представляют собой хронологическую запись геомагнитных инверсий. Зная скорость разрастания дна, имея датировки некоторых из этих аномалий, полученные по коренным породам или нижнему слою осадков океани-

ческого дна, можно построить так называемую аномалийную шкалу геомагнитной полярности. Из-за молодости океанического дна этот способ также может быть применен при построении шкалы геомагнитной полярности только для юры и моложе.

Наконец, четвертый способ построения шкалы геомагнитной полярности – это применение нормальной стратиграфической процедуры: палеомагнитное изучение наиболее полных разрезов осадочных и вулканогенно-осадочных толщ в стратотипических областях, сопоставление и надстраивание полученных последовательностей зон прямой и обратной намагниченности и составление сводных магнито-стратиграфических разрезов сначала по отдельным регионам и провинциям, а затем их объединение в глобальном масштабе. Временной эквивалент построенной таким путем магнито-стратиграфической шкалы представляет собой последовательность интервалов прямой и обратной геомагнитной полярности, привязанную к общей геохронологической шкале – к периодам, эпохам и векам.

Геомагнитные инверсии, если их рассматривать за длительные интервалы (эры и более), подчиняются сложной ритмичности. Они неравномерно распределяются по шкале времени, позволяя выявить интервалы сгущений и разрежений, характерные группировки и т. п. Следовательно, в магнито-стратиграфической и магнитохронологической шкалах полярности можно выделить единицы разного ранга – таксономические единицы.

В Стратиграфическом кодексе 2006 г. узаконены следующие магнито-полярные и магнитохронологические единицы, ранг которых определяется длительностью и значением соответствующего ей этапа в общей истории геомагнитного поля:

мегазона – мегахрон (продолжительность > 100 млн лет, сравнимы с эратемами),

гиперзона – гиперхрон (100 – 30 млн лет, сравнимы с системами),

суперзона – суперхрон (30 – 5 млн лет, отдел – ярус),

ортозона – ортохрон (5 – 0,5 млн лет, ярус или его часть),

субзона – субхрон (0,5 – 0,01 млн лет),

микрозона – микрохрон ($< 0,01$ млн лет).

До сих пор используются термины магнитной полярности «эпоха», «эпизод» (event) и «событие» для хронологических аналогов – «ортозоны», «субзоны» и «микрзоны».

В разрезах часто наблюдаются интервалы, соответствующие неустойчивому состоянию геомагнитного поля (сильному отклонению направления поля, незавершенной инверсии). Такой интервал называется аномальным, включается в состав вмещающего магнито-стратиграфического подразделения и не представляет самостоятельной таксономической единицы, но может служить реперным уровнем. Его временной аналог называется экскурсом магнитной полярности.

Магнитостратиграфические исследования ведутся по нескольким направлениям, которые включают в себя:

– расчленение толщ горных пород по палеомагнитным характеристикам (полярности, координатам полюсов, реперным горизонтам аномальных направлений векторов, скалярным параметрам);

– палеомагнитную корреляцию региональных и местных стратиграфических схем и их сопоставление с общей стратиграфической шкалой;

– создание единой магнитостратиграфической шкалы.

Практика использования палеомагнитного метода в геологии показала, что наиболее успешно он может применяться при решении следующих задач стратиграфии:

1) изучение стратиграфии четвертичных и плиоценовых отложений, определение нижней границы четвертичной системы;

2) разработка и обоснование геохронологической шкалы протерозоя и фанерозоя;

3) корреляция стратиграфических шкал для континентов и биогеографических областей, в особенности континентальных образований, и привязка их к общей шкале;

4) изучение стратиграфии немых толщ, определение геологического возраста вулканогенных образований и руд;

5) детальная корреляция разрезов неогена, триаса – верхней перми, ордовика – верхнего кембрия.

Объекты палеомагнитных стратиграфических исследований определяются как поставленными задачами, так и тем, насколько вероятно сохранность первичной намагниченности J_n в породах и насколько просто ее выделить.

Наиболее благоприятными объектами являются первично окрашенные красноцветные осадочные породы и эффузивы основного состава, некоторые сероцветные осадочные породы и бокситы.

При региональных исследованиях палеомагнитный метод применяется в комплексе методов стратиграфии для детального расчленения, корреляции и определения возраста вулканогенных и немых осадочных толщ. Основой таких работ в каждом регионе является составление опорного палеомагнитного разреза, т. е. установление всей последовательности палеомагнитных зон в том стратиграфическом интервале, который представлен породами региона, и привязка этих зон к региональной стратиграфической шкале.

Система отбора образцов на палеомагнитные исследования определяется прежде всего поставленной задачей и объектами изучения. При решении стратиграфических задач применяют следующие способы отбора.

1. Равномерный отбор образцов по наиболее полным разрезам (обнажениям). В каждой точке отбирают один-два штуфа, из которых изготавливают три и больше образцов для магнитометрических измерений. Так изучаются однородные осадочные толщи, отдельные пласты, лавовые потоки.

Интервал отбора определяется мощностью геологического тела и минимальным числом требуемых для статистической обработки образцов, которых в каждом обнажении должно быть не меньше 15–20.

2. Выборочный отбор образцов определенных типов пород. Применяют, если в толще только некоторые породы могли сохранить первичную намагниченность. Способ отбора не отличается от первого, если благоприятные породы встречаются в разрезе часто. В том случае, если для изучения пригодны только немногие пласты, число штуфов, отобранных из каждого пласта, увеличивают, чтобы сохранить необходимые 15–20 образцов в каждом обнажении.

3. Отбор немногих штуфов в разных местах залегания объекта. Применяют при рекогносцировочных исследованиях. В этом случае рационально из каждого штуфа приготовить в лабораторных условиях возможно большее число образцов.

Палеомагнитология имеет дело с векторными величинами, поэтому образцы для палеомагнитных исследований должны быть ориентированы в пространстве. Для этого выбирают плоскость маркировки и измеряют с помощью горного компаса азимут и угол наклона этой плоскости. При изучении слоистых осадочных пород, чтобы избежать пересчетов, в качестве плоскости маркировки стараются выбрать плоскость напластования. Линию падения наносят на плоскость маркировки со стрелкой в сторону падения, азимут этой линии и угол ее наклона (угол падения) измеряют и записывают. При горизонтальном залегании стрелку направляют на север.

Образцы для магнитометрических измерений изготавливают одним из следующих способов.

1. От обнажения откалывают штуф породы размером приблизительно $5 \times 10 \times 10$ см; верхнюю поверхность образца маркируют стрелкой. Штуф разрезают на одинаково ориентированные кубики вручную (сразу же на обнажении в случае мягких пород) или на камнерезном станке; на каждый кубик переносят линию падения со стрелкой.

2. Из штуфа перпендикулярно к плоскости маркировки выбуривают керны, которые затем разрезают с помощью камнерезного станка на цилиндры одинаковой высоты.

3. Такие же керны выбуривают непосредственно на обнажении, минуя процесс отбора штуфов.

4. Для мягких пород применяют пробоотборники, позволяющие получать кубики с ребром 24 мм непосредственно на обнажении.

Правильная форма образцов предпочтительнее, т. к. позволяет на порядок повысить точность на нижнем пределе измеряемых величин. Размеры кубиков зависят от применяемого магнитометра, обычно они составляют 24 мм или 10 см по ребру.

По результатам лабораторного анализа строятся палеомагнитные диаграммы разрезов, которые являются важными характеристиками изучаемых стратонов (рис. 15).

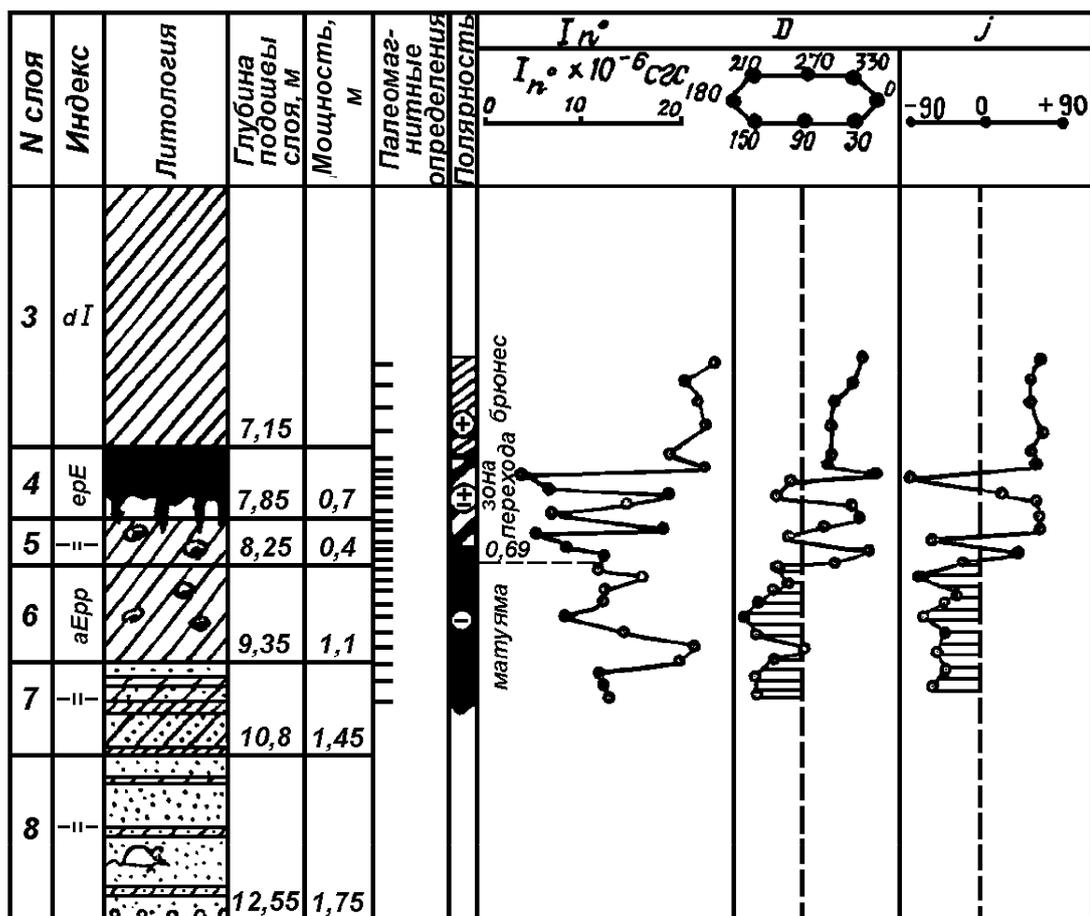


Рис. 15. Палеомагнитная диаграмма разреза Петропавловка Воронежской области (Верхний плиоцен..., 1985)

4.4.3. Сейсмическая стратиграфия (сейсмостратиграфия)

Сейсмостратиграфия представляет собой метод стратиграфической интерпретации данных сейсмического профилирования в виде сейсмограмм отраженных или преломленных волн. Выделяемые при этом в сейсмометрических границах геологические тела являются сейсмостратиграфическими подразделениями, которые могут иметь региональное или местное значение.

Важнейшей особенностью сейсмостратиграфического метода являются, во-первых, более значительные глубины земной коры, чем те, которые могут быть вскрыты бурением (сейчас это около 5 км); во-вторых, получаемая информация отличается более высокой плотностью по сравнению с результатами бурения одиночных или редких скважин.

Технический прогресс сейсмической стратиграфии в 70–80-е гг. XX в. привел геологов к выводу, что стратиграфия осадочных бассейнов в значительной степени определяется колебаниями уровня Мирового океана и что сейсмометрические границы являются в большей степени хроностратиграфическими, чем литостратиграфическими (Сейсмическая стратиграфия..., 1982).

Шкала эвстатических изменений уровня Мирового океана, получившая наименование шкалы Вейла, является основой для определения геологического возраста сеймостратиграфических подразделений. В последующие годы в эту шкалу были внесены уточнения и ограничения, а для замкнутых изолированных бассейнов разработаны местные шкалы.

Сеймостратиграфический анализ складывается из следующих операций (Vail et al., 1977): 1) анализ сейсмического профиля и выделение геологических тел; 2) корреляция с данными имеющихся скважин и привязка к реальным геологическим границам; 3) выделение и анализ сейсмических фаций; 4) интерпретация литофаций; 5) компьютерное моделирование волновой картины; 6) окончательная интерпретация и выделение стратиграфических единиц.

Стратиграфический кодекс России (2006) предусматривает следующие основные сеймостратиграфические единицы.

Сейсмогоризонт – поверхность формирования латерально устойчивого сейсмического сигнала, отвечающего волне определенного типа. Может соответствовать границам раздела стратиграфических подразделений или поверхностям несогласий.

Субстанциональные границы – резкостные или градиентные разделы в поле акустических параметров, которые могут совпадать или не совпадать с сейсмогоризонтами.

Сеймостратиграфические подразделения следует выделять в сеймометрических границах одного и того же типа. Их форма – от плоскопараллельной до круто наклоненной линзовидной (клиноформной).

Единицей региональных сеймостратиграфических подразделений является сеймокомплекс, под которым понимается совокупность горных пород, характеризующаяся единством внутреннего структурного плана и ограниченная регионально выраженными горизонтами. С помощью промежуточных сейсмогоризонтов сеймокомплекс может подразделяться на подкомплексы.

Сейсмогоризонты обозначаются буквенными или цифровыми индексами, сеймокомплексы – буквенными или цифровыми индексами ограничивающих горизонтов или в случае совпадения с определенным стратиграфическим подразделением могут получить название последнего.

Местные сеймостратиграфические подразделения – совокупности горных пород, обладающие тем или иным сейсмическим признаком или их сочетанием, выделяемые в границах любых типов и прослеживаемые в пределах структурно-фациальной зоны или части палеобассейна седиментации.

Названия местных сеймостратиграфических подразделений образуются из стратиграфических терминов с приставкой *сейсмо-* (сейсмотолща, сеймопачка и т. д.). Названия сейсмоединиц могут включать индексы ограничивающих их сейсмогоризонтов, глубинный интервал на разрезе, их

сейсмическую характеристику, а также название местного стратона, с которым соотносится данное сейсмоподразделение.

Региональные и местные сеймостратиграфические подразделения являются основой для составления региональных сеймостратиграфических схем, которые в свою очередь могут быть разделами региональных стратиграфических схем.

4.4.4. Секвентная стратиграфия

Сеймостратиграфия дала начало секвентной стратиграфии, т. е. стратиграфии последовательных седиментологических единиц или формаций. Термин «секвенция» (sequence – последовательность, ряд) ввел Л. Слосс в 1963 г. для трансгрессивно-регрессивных серий Северо-Американской платформы. Несколько позже, в 1975 г., К. Чангом в качестве основной единицы стратиграфических подразделений, ограниченных несогласиями, была предложена синтема. И хотя последняя рекомендуется Международным стратиграфическим справочником (2002), большинством геологов, как отечественных, так и зарубежных, используется термин «секвенция». Этот факт получил отражение в специальном разделе Дополнений к стратиграфическому кодексу России (2000). Секвенция – это трансгрессивно-регрессивная серия осадков, ограниченная снизу и сверху несогласиями. Масштаб секвенции может быть разным, но, в общем, это достаточно крупные стратиграфические подразделения (в фанерозое Северной Америки их выделено всего шесть). Выделение секвенций оправдано только там и тогда, когда другие стратиграфические подразделения не могут быть выделены.

В секвентной стратиграфии основное место занимает анализ секвенций, связанных с эвстатическими колебаниями уровня Мирового океана (Vail, 1977, 1987; Геоисторический..., 1999). При этом во время повышения уровня океана и трансгрессии, а затем падения уровня океана и регрессии в областях перехода от континента к океану сильно меняются пути, по которым транспортируется обломочный материал с суши в моря. Такие пути транспорта осадочного материала с суши в моря называются *системами трактов*.

Выделяются следующие состояния уровня океана: низкое стабильное стояние, подъем уровня, высокое стабильное стояние, падение уровня. Соответственно в характере седиментации на континентальной окраине выделяется три основных типа систем трактов: низкого стояния, трансгрессивный и высокого стояния. Характер седиментации на континентальной окраине при этом меняется следующим образом (рис. 16).

Пример образования относительными изменениями уровня моря

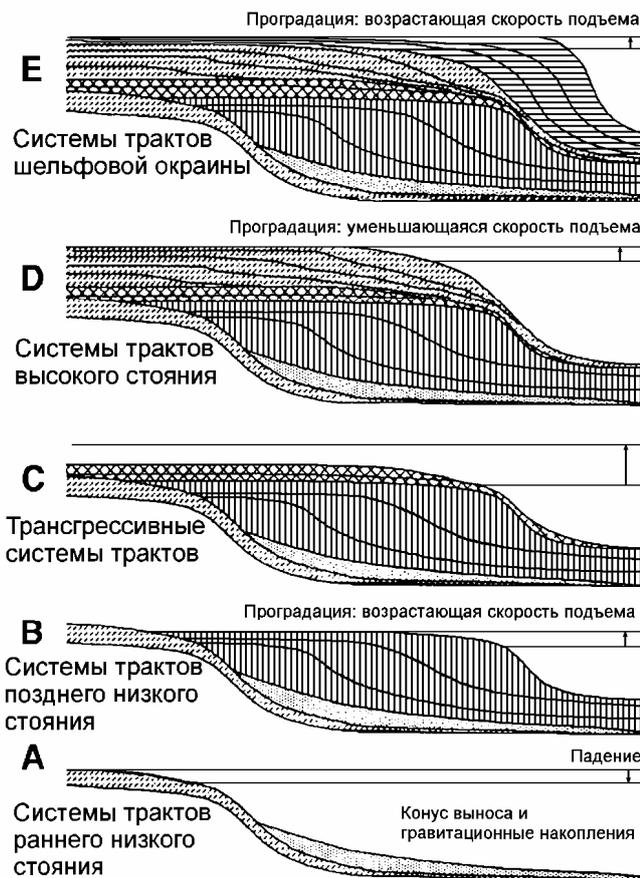


Рис. 16. Схема формирования секвенции (Геоисторический..., 1999)

При падении уровня моря до наинизшего состояния и осушения шельфа основная седиментация происходит за счет быстрого транспорта обломочного материала в область подножия континентального склона (*состояние систем трактов раннего низкого стояния*).

После максимального снижения уровня моря в условиях значительно осушенного шельфа интенсивное поступление обломочного материала с суши приводит к засыпанию области континентального склона в виде проградации (продвижения вперед) клиноформных комплексов в основном в области континентального склона и его подножия (*состояние систем трактов позднего низкого стояния*).

С подъемом уровня моря и общей трансгрессией формируется трансгрессивная серия осадков, при этом осадочный материал в основном откладывается на шельфе, и фронт седиментации движется в сторону континента в виде трансгрессивной серии. Подошва этого фронта именуется трансгрессивной поверхностью, а такой процесс называется *обратным движением*. В целом это *состояние трансгрессивных систем трактов*. При плавном достижении высокого стояния уровня моря наступает состояние *систем трактов высокого стояния*.

Море стабильно затопляет шельфы, которые впоследствии перекрываются осадочным материалом. Основная масса обломочного материала пере-

крывает шельф и транспортируется к границе шельфа и континентального склона, где формируется система пологих клиноформ проградации шельфовых комплексов в сторону континентального склона.

Далее при стабильном высоком стоянии уровня моря, когда зона затопленного шельфа уже насыщена осадочным материалом, обломочный материал в основном транспортируется в зону континентального склона и его подножия. Происходит проградация шельфа за счет клиноформного засыпания осадками всей области континентального склона (состояние *системы трактов шельфовой окраины*).

Секвенс-стратиграфические подразделения относятся к группе специальных стратиграфических подразделений (Дополнения..., 2000). Они могут быть выделены в терригенных и карбонатных отложениях. Терминология и иерархия подразделений, используемых в секвенсной стратиграфии, еще не устоялась. Наиболее широко принята иерархия подразделений, в которой в нисходящем порядке рекомендуются мегасеквенс, суперсеквенс, секвенс и парасеквенс. Группировки секвенсов образуют подразделения более крупных рангов, разделенные несогласиями субрегионального и регионального значения.

Секвенс (sequence) – основная секвенс-стратиграфическая единица, относительно согласная последовательность генетически связанных слоев, ограниченная несогласиями и коррелятивными им согласиями, образованная за один цикл колебаний относительно уровня моря. Секвенсы – региональные стратиграфические подразделения, охватывающие весь бассейн седиментации или его крупные части. Они отчетливы в краевых частях бассейнов и часто неразличимы в глубоководных разрезах. В образовании секвенсных подразделений значительная роль отводится колебаниям уровня моря. Для фанерозоя выделяются циклы пяти порядков продолжительностью от сотен миллионов до десятков тысяч лет. Образование секвенсов связано с циклами третьего и значительно реже с циклами четвертого порядка. Более крупные циклы представлены группами секвенсов (суперсеквенсов и мегасеквенсов), а самые мелкие (четвертого и пятого порядка) выделяются в качестве элементов секвенсов – парасеквенсов. Обычно при секвенс-стратиграфических исследованиях наибольшее значение имеют циклы третьего (1–5 млн лет) и второго (10–80 млн лет) порядка.

Парасеквенс (parasequence) – мелеющая вверх последовательность слоев (регрессивный циклит), ограниченная поверхностями морского затопления – уровнем наибольшей мористости осадков.

Пакет парасеквенсов (parasequence set) – последовательность парасеквенсов по вертикали. Выделяются три типа таких последовательностей: проградационный (регрессивный), ретроградационный (трансгрессивный), характеризующие соответственно наступление и отступление береговой линии, и аградационный с относительно стабильным положением ландшафтных обстановок.

Секвенсы состоят из трех главных частей – трактов седиментационных систем (системных трактов, systems tract). Они представляют собой лате-

ральные фациальные ряды, образовавшиеся в различных условиях седиментации, причем особо важное значение имеет положение уровня моря относительно бровки шельфа.

Выделяется два типа секвенсов.

Секвенс первого типа содержит нижний, трансгрессивный и верхний системные тракты. Его нижняя граница четкая и обусловлена значительным снижением относительно уровня моря, что приводит к субаэральному размыву шельфа и сдвигу седиментации в зашельфовую часть бассейна.

Секвенс второго типа связан с замедлением скорости подъема относительного уровня моря и его стабилизацией и не сопровождается осушением шельфа и перемещением седиментационных протоков в зашельфовую часть бассейна. В связи с этим в секвенсе отсутствует типичный тракт низкого стояния уровня моря. Вместо него при наиболее низком положении уровня моря формируется окраинно-шельфовый тракт (shelf-margin systems tract), представленный пакетом парасеквенсов от проградационной до аградационной последовательности. Он мало отличается от нижележащего верхнего тракта подстилающего секвенса, и граница между ними не всегда отчетлива.

Форма секвенсов разнообразна – от плоскопараллельных и линзовидных тел осадочного чехла до сравнительно крутонаклоненных линзовидных тел – клиноформ.

Клиноформы – термин свободного пользования для клиновидных седиментационных тел с отчетливыми первичными наклонами слоев; они формируются в склоновой части секвенса и сложены терригенными породами. Различаются клиноформы трактов низкого и высокого стояния уровня моря. В крупных платформенных бассейнах (сотни тысяч и миллионы квадратных километров) клиноформы протягиваются вдоль окраин бассейна на сотни и даже тысячи километров при ширине ортоклиноформных частей в первые десятки километров. В таких бассейнах углы седиментационных наклонов слоев достигают 5° .

Клиноформные серии – это ансамбли клиноформ, свойственные этапам заполнения некомпенсированных впадин. Клиноформы при боковом наращивании последовательно сменяют друг друга, омолаживаясь от областей питания к центру бассейна.

Сопоставление секвенс-стратиграфических схем различных осадочных бассейнов позволяет исключить влияние региональных причин образования секвенсов и выявить эвстатические события. На этом основано построение глобальной секвенс-стратиграфической последовательности и эвстатической кривой колебаний уровня Мирового океана. Корреляция секвенс-стратиграфических схем требует биостратиграфического контроля.

Наименования секвенс-стратиграфических подразделений образуются из географического названия и термина, указывающего ранг единицы. Для секвенса и его подразделений применяются также цифровые или буквенные обозначения.

Примеры. Саукский суперсеквенс; ивановский секвенс; пимская клиноформа; S-1 – первый (снизу) секвенс силура; K₂rb-1 – первый (снизу) секвенс рыбновского стратиграфического горизонта.

Процедура установления, прослеживания и описания секвенс-стратиграфических подразделений, помимо требований, предъявляемых к другим категориям стратиграфических подразделений, должна базироваться на данных по распространению и особенностях несогласий и седиментационных поверхностей (максимального затопления, конденсации и др.), а также на седиментационной структуре и геометрии осадочных тел.

4.4.5. Методы изотопной хронометрии

В большинстве перечисленных выше методов определение времени образования каких-либо толщ относительно, т. к. базируется на выяснении соотношения с подстилающими и перекрывающими слоями или на сопоставлениях с эталонными разрезами. Однако все большее значение имеет количественное определение возраста слоя, выраженное в годах. Для этого необходимо лишь наличие какого-либо процесса, равномерно и непрерывно происходящего во времени, обладающего достаточной продолжительностью и оставляющего хорошо видимые следы в геологических образованиях. В этой связи наиболее подходящим процессом оказался для геологов радиоактивный распад неустойчивых изотопов. Становление изотопной хронометрии связывается с именем американского геолога Артура Холмса, который впервые стал применять количественные данные для определения возраста и продолжительности стратиграфических подразделений.

В результате самопроизвольного распада тяжелых изотопов количество атомов этих элементов в минералах сокращается и вместо них в кристаллических решетках появляются устойчивые изотопы дочерних элементов. По соотношению материнского и дочернего изотопов в минерале, зная скорость распада неустойчивого элемента, можно судить о возрасте минерала и соответственно о возрасте изверженной породы, в которой он заключен, или о возрасте осадочной породы, если анализируются аутигенные минералы. Этот метод корректен при двух допущениях.

Во-первых, скорость радиоактивного распада должна быть неизменной в течение всей геологической истории, что подтверждается современными исследованиями.

Во-вторых, все дочерние изотопы образовались в анализируемом минерале только за счет распада исходных неустойчивых изотопов. Проверка этого допущения непосредственными анализами практически невозможна. Единственный путь контроля заключается в параллельном измерении возраста различными методами и последующем анализе расхождений, если они возникают.

Изотопная хронометрия особенно большое значение имеет в стратиграфии докембрийских отложений, для которых ограничены возможности использования биостратиграфического метода.

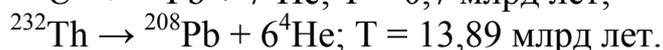
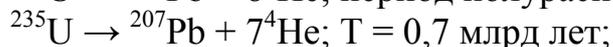
В стратиграфии фанерозоя радиологические методы все еще применяются недостаточно широко. Тем не менее необходимо иметь в виду, что этими методами можно успешно датировать возраст магматических и метаморфических образований, к которым неприменимы обычные стратиграфические методы. В настоящее время получены изотопные даты практически для всех ярусов фанерозоя и эратем докембрия (Стратиграфический кодекс, 2006). Определенные данные о возрасте осадочных отложений могут быть получены на основе их соотношений с интрузивными образованиями, возраст которых также определен радиологическим методом.

Изотопный возраст стратиграфических подразделений устанавливается в годах (тыс., млн или млрд лет) от настоящего времени, за которое принят 1950 г., что имеет значение для голоценовых датировок.

Расчет времени производится по формуле, учитывающей количество исходных неустойчивых атомов, количество тех же атомов, сохранившихся за искомое время, и константу распада, показывающую, какая часть радиоактивных атомов распадается за единицу времени по отношению к первоначальному количеству.

В настоящее время наиболее распространенными являются четыре метода изотопной хронометрии:

1. Свинцово-урано-ториевый, или свинцовый метод, основанный на реакциях распада:



2. Рубидий-стронциевый:



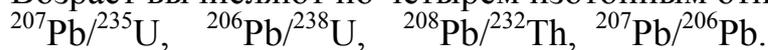
3. Калий-аргоновый метод, при котором 89 % атомов изотопа ^{40}K испускают β -частицу (электрон) и превращаются в ^{40}Ca , а 11 % атомов ^{40}K захватывают электрон, превращаясь в ^{40}Ar .

4. Радиоуглеродный метод, основанный на реакции ^{14}N с нейтроном в верхних слоях атмосферы под воздействием космического излучения и превращением его в изотоп ^{14}C с периодом полураспада 5750 лет. Углерод в составе углекислого газа в процессе фотосинтеза входит в организмы, после захоронения которых начинается распад ^{14}C .

Свинцовый метод. Применяется преимущественно для докембрийских пород, содержащих минералы урана и тория. Эти минералы выделяют из больших (50–100 кг) проб пород. Навеска минералов должна быть не менее 0,5 г, погрешность анализа ± 5 %. Необходимо не менее 7–8 валовых проб массой от 3 до 8 кг (в зависимости от возраста и содержания в породах урана и тория). Пробы должны быть по возможности монолитными; нельзя

объединять в одну пробу образцы, взятые из разных штуфов. Для анализа отквартовывают 300–500 г породы. Погрешность анализа $\pm 5\%$.

Возраст вычисляют по четырем изотопным отношениям:



Возможность определения возраста одной и той же пробы одновременно по нескольким изотопным отношениям – главное преимущество свинцового метода по сравнению с другими радиологическими методами.

Рубидий-стронциевый метод. Используется для определения возраста кислых и средних докембрийских и фанерозойских магматических и метаморфических пород, содержащих рубидий (амазонит, лепидолит, биотит, мусковит, микроклин). Навеска должна составлять в среднем около 5 г. Погрешность анализа составляет $\pm 3\text{--}5\%$. Исходная масса каждой пробы должна быть около 2–5 кг. Для анализа после измельчения отквартовывают навеску 20–30 г.

Калий-аргоновый метод. Применяется для датирования главным образом магматических и метаморфических пород по минералам, содержащим калий: слюдам, полевым шпатам, роговым обманкам, пироксенам. Возраст осадочных пород определяется достаточно уверенно лишь по глауконитам. В большинстве случаев используют навески 10–20 г, получаемые из проб массой около 20 кг. Погрешность определения возраста составляет $\pm 4\%$.

Результат, полученный только по одному минералу, не может считаться достаточно надежным. Уверенно судить о возрасте геологических объектов можно лишь в том случае, когда изотопные датировки, полученные для двух-трех минералов, примерно совпадают. Изотопный возраст считается надежным при совпадении датировок, полученных по таким парам минералов, как биотит – калиевый полевой шпат, биотит – амфибол, амфибол – пироксен, амфибол – плагиоклаз. Большая миграционная способность радиогенного аргона позволяет использовать калий-аргоновый метод главным образом для определения возраста фанерозойских пород. Для докембрийских пород этот метод может применяться только как сугубо рекогносцировочный.

Радиоуглеродный метод. Используется для датирования пород позднего неоплейстоцена – голоцена. Массовое радиоуглеродное датирование применимо для образцов возрастом от 1 тыс. до 50 тыс. лет. В качестве объектов применяются углеродсодержащие материалы: древесный уголь, древесина, торф, гумус, кости, раковины моллюсков, сталактиты и т. п. Для анализа используют следующие навески, г: древесный уголь – 10–15; древесина – 50–70; торф – 100–150; раковины – 60–70.

При отборе образцов необходимо избегать возможности их загрязнения. Их нельзя обрабатывать химическими реактивами, нежелательны прикосновения рук к мелким образцам. При упаковке образцы категорически запрещается помещать в вату, опилки, стружку, их необходимо вкладывать в двойные полиэтиленовые мешки.

Некоторые другие методы. Помимо охарактеризованных выше изотопных методов в последнее время развиваются и некоторые другие.

Самарий-неодимовый, система которого наиболее устойчива среди всех других, применяется для датировок докембрия.

Калий-кальциевый метод.

Уран-ксеноновый метод.

Бериллиевый метод.

Принципиально новые возможности открывает применение нейтронно-активационных методов, позволяющих датировать открытые геохронологические системы, т. е. породы, подверженные различным наложенным изменениям. Нейтронно-активационный вариант может быть использован для многих методов: калий-аргонового, рубидий-стронциевого, калий-кальциевого, самарий-неодимового, уран-ксенонового, рений-осмиевого.

4.4.6. Метод треков

Для определения возраста новейших (неогеновых – четвертичных) отложений успешно используется метод треков – спонтанного деления ядер урана ^{238}U , осколки которых при распаде разлетаются с большой энергией, производя на пути разрушения в решетке, т. е. треки. Их проявляют кислотно-щелочной обработкой и смотрят под микроскопом в шлифе. По числу обнаруженных треков с учетом концентрации урана определяется возраст горной породы. При этом концентрацию урана определяют методом нейтронной активации, т. е. облучением потоком нейтронов от ядерного реактора. В результате этого происходит превращение ^{238}U в ^{235}U , содержание которого легко измеряется.

Нейтронная активация вводит также поправку на «залечивание треков» и дает их исходные размеры. Наименьшей способностью к залечиванию треков обладают циркон, апатит и вулканическое стекло, которые и являются основными объектами применения метода.

4.4.7. Термолюминесцентный метод

Термолюминесцентный метод датирования (ТЛ-датирование) основан на свойстве некоторых минералов запасать световую энергию и затем выделять при нагреве в лаборатории в виде светосуммы – S. Такими свойствами обладают кварц, полевые шпаты, карбонаты. Величина светосуммы пропорциональна числу электронов в ловушках кристаллической решетки.

При осадконакоплении в кварцевом песке под действием ультрафиолетовых лучей солнечного света происходит стирание прежней прогенетической памяти. В этот так называемый нуль-момент уже в течение месяца происходит стирание прежней светосуммы и накопление исходной, которая

после захоронения осадка начинает постепенно разлагаться. Для определения времени (t) в лаборатории производят калибровку пробы песка соответствующей радиационной дозой D , величина которой эквивалентна истекшей светосумме. Зная природную радиоактивность песка E , получают время $t = D/E$. В реальности этот метод намного сложнее и содержит несколько модификаций.

Возрастной диапазон метода – до 1 млн лет. Точность – $\pm 25\%$.

В качестве вариантов ТЛ-датирования успешно используются также методы оптически стимулированной люминесценции (ОСЛ) и электронного спинового резонанса (ЭСР).

4.4.8. Аминокислотный метод

В основе метода лежит процесс спонтанной рацемизации аминокислот, т. е. переход оптически активной смеси (L-изомера) в оптически неактивную (рацемическую) смесь (D-изомеры). Установлено, что все белки первоначально состоят из L-изомеров, которые со временем переходят в D-изомеры, количество которых нарастает с возрастом.

Основные объекты исследования – раковины, кораллы, фораминиферы, зубы, кости, глубоководные осадочные породы. Возрастной диапазон – до 1 млн лет.

4.5. Событийная стратиграфия

Геологическим событием, по предложению Дж. Гулда (Гретенер, 1986), принято называть скачок в развитии какого-либо природного процесса, обусловленный как внутренними причинами, так и внешними воздействиями, имеющий геологическое выражение. Являясь природными феноменами с точки зрения человеческого восприятия, геологические события подразделяются прежде всего на ординарные и экстремальные. Разрушительные из числа последних являются катастрофическими. Отражая чрезвычайно широкий круг разнохарактерных процессов, геологические события могут быть закономерными и в том числе ритмичными, случайными и неустановленной периодичности. Применительно к масштабности рассматриваемых событий и процессов в самом первом приближении они делятся на глобальные, региональные и локальные.

Основное требование при выделении геологического события, кроме его очевидной выразительности, – это кратковременность. По мнению П. И. Гретенера (1986), продолжительность события должна составлять не более $1/100$ общей продолжительности рассматриваемого промежутка времени и при этом она может измеряться временем от 10 тыс. лет до 10 млн лет. Этим же автором предложена классификация геологических событий по степени их пе-

риодичности, которая с нашими дополнениями выглядит следующим образом: регулярные – 10^2 , обычные – 10^3 , эпизодические – 10^4 , систематические – 10^5 , повторяющиеся – 10^6 , случайные – 10^8 и редкие события – 10^9 . Цифры означают число лет, необходимых для 95-процентной вероятности хотя бы одного события.

Проявления геологических событий очень разнообразны и часто сложны. Кроме геологически мгновенных явлений, в качестве события в самом общем виде могут быть приняты моменты начала, максимума, финала, а также экстремальные рубежи развития какого-либо природного процесса, имеющего геологическое выражение.

Нами (Холмовой, Лаврушин, 1999) предлагается классификация событий новейшей геологической истории, составленная применительно к территории Восточно-Европейской равнины (табл. 1). В ней события подразделены прежде всего на классы по основным природным процессам и ранжированы по масштабности их проявления на глобальные, региональные и локальные. Далее классы событий подразделены на типы, рядом с которыми даны их индикационные признаки. Использованы при этом некоторые частные классификации, в частности для классов филогенетических и экосистемных биособытий (Kauffman, 1986).

Таблица 1

Классификация событий новейшей геологической истории

		Классы событий			Типы событий	Индикаторы событий
		Глобальные	Региональные	Локальные		
		1	2	3	4	5
				Космогенные	Падение метеоритов	Магнетитовые сферулы
					Падение крупных тел	Импактиты. Кратеры
Геоманнитные					Смена ортозон и региональных магнитозон	Границы интервалов магнитной полярности
					Микрозоны	Экскурсы, события
			Вулканогенные		Пеплопады	Пластовые накопления. Рассеянные включения пепловых частиц
				Тектоногенные	Землетрясения	Деформация в поверхностях напластования
Климатические	Криохронов				Понижения уровня океана и внутренних морей	Смещение береговой линии, морские террасы
					Рубежи стадий и осцилляции ледника	Краевые образования. Внутренние конечные морены. Генерации зандров
					Прорывы талых вод	Подпрудные бассейны. Йокульлаупы
					Многолетняя мерзлота и ее экстремумы	Криогенные деформации
					Криогигротические рубежи и экстремумы	Палинокомплексы тайги, лесотундры
					Криоксеротические рубежи и экстремумы	Палинокомплексы тундро-степи, арктической пустыни
	Термохронов				Термоксеротические рубежи и экстремумы	Палинокомплексы полупустынь и южных степей
	Термогигротические рубежи и экстремумы	Палинокомплексы широколиственных лесов				

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	
	Связанные с деятельностью рек		Увеличение водного стока реки	Эрозионный врез. Инстративный аллювий	
			Выдающиеся паводки	Наложённые паводки	
			Сокращения объема водного стока	Перерывы в пойменном аллювии	
			Увеличение твердого стока	Коистративный аллювий	
			Летние паводки	Перигляциальный аллювий	
			Штормовые наводнения в устьях рек	Лайды, инундиты, темпеститы	
			Ритмика в перигляциальном аллювии	Мезоциклиты, циклиты в разрезе	
		Связанные с озерным осадконакоплением	Сезонная цикличность	Ленточная слоистость	
			Олиготрофная стадия развития озер	Карбонатонакопление. Аутигенные минералы	
			Эвтрофирование озер	Сапропель, торф. Аутигенные минералы	
			Колебания уровня озер	Изменения береговой линии	
	Связанные с атмосферными процессами		Усиление золовых процессов	Лёссонакопление. Пески с золовой слоистостью	
			Ослабление золовых процессов	Почвообразование. Смытие почвы на склонах	
			Экстремумы золовой деятельности	Аномальные содержания неустойчивых материалов	
			Рубежи стабилизации атмосферных фронтов	Реконструируемые границы и оси климатические	
			Пожары	Спорово-пыльцевые данные	
	Седиментационные s. I			Смена типа осадконакопления	Смена типов пород в разрезе
				Изменение гранулометрического состава песков	Рубежи гранулометрической зрелости песков
				Изменение состава аксессуарных материалов	Колебания выветрелости комплекса терригенных минералов
				Изменения в комплексе глинистых минералов	Смена доминантов в составе примесей
				Рубежи геохимической дестабилизации	Перестройки корреляционных связей между элементами
	Связанные с развитием рельефа			Рубежи стабилизации края ледника	Краевые формы ледникового рельефа
				Террасообразование	Элементы речных террас
				Рубежи формирования поверхностей выравнивания	Долинные педименты, полигенетические поверхности выравнивания
Перестройки гидросети				Освоение послеледникового рельефа. Эрозионные перехваты речных систем. Правосторонняя миграция	
Рубежи в развитии склонов				Генерация склоновых образований	
Филогенетические			Появление нового таксона, морфотипа	Хронологический рубеж появления таксона	
			Вымирание таксона	Хронологический рубеж вымирания таксона	
			Смена фаунистического (флористического) комплекса	Хронологический рубеж смены комплексов	

1	2	3	4	5
	Экосистемные		Иммиграция и эмиграция	Появление нового для региона таксона, переселение
			Изменение структуры биосообществ	Перестройка коррелятивных связей
			Региональная колонизация	Заселение незанятых биотопов
			Популяционный взрыв	Максимум численности таксона
			Массовая гибель	Исчезновение более 50% таксонов
Связанные с эволюцией человека			Этапы эволюции человека	Смена антропологических типов
			Смена эпох, периодов и культур каменного века	Рубежи и отдельные события истории каменного века

Примеры использования геологических событий более древней геологической истории можно найти в публикациях (Вейнмарн А. Б. и др., 1998; Гладенков Ю. Б., 1995; Дополнения..., 2000; Корень Т. Н., 1998 и др.).

Последовательность геологических событий или событийных уровней в геологической истории складывается в систему маркеров или опорный каркас для стратиграфических построений, позволяющий уточнять и детализировать стратиграфические схемы.

4.6. Биостратиграфические (палеонтологические) методы

Биостратиграфические методы расчленения и корреляции являются ведущими для всего фанерозоя. Это обусловлено двумя особенностями. Во-первых, они универсальны, т. к. применение биостратиграфических методик возможно для содержащих органические остатки осадков любого литологического состава, любой фациальной принадлежности и любого возраста. Во-вторых, они объективны, потому что биостратиграфические данные позволяют оценивать последовательность и взаимоотношения осадочных толщ вне зависимости от их строения и состава. Опираясь на палеонтологические объекты, биостратиграфия требует более специальной профессиональной подготовки, чем другие методы стратиграфических исследований.

В своей первоначальной форме палеонтологический метод в стратиграфии появился в период господства идей фиксизма (постоянства видов), креационизма и катастрофизма.

Несмотря на неверные теоретические предпосылки, тогда удалось достигнуть больших успехов в разработке стратиграфии. Признавая существование прогрессивного ряда сменяющих друг друга фаун и флор и используя сравнительно анатомический метод, катастрофисты тем самым подготовили основу для возникновения и победы эволюционной идеи. И лишь с победой дарвинизма и возникновением эволюционной палеонтологии био-

стратиграфический метод получил свое настоящее обоснование и раскрыл свои возможности.

Прежде чем перейти к рассмотрению собственно палеонтологических методов в стратиграфии, необходимо рассмотреть основные положения эволюционного учения.

4.6.1. Адапциогенез и основные направления эволюционного процесса

Эволюционный процесс всегда имеет адаптивный характер. Каждый вид занимает определенное место в природе и находится в сложных взаимоотношениях с условиями обитания. Поэтому эволюцию можно рассматривать как *адапциогенез*, т. е. *исторический процесс становления и развития приспособлений, характеризующих жизненную форму вида или группы жизненных форм, принадлежащих к конкретным таксонам различного ранга.*

Обобщая работы ряда ученых (А. Н. Северцов, И. И. Шмальгаузен, А. Л. Тахтаджян, А. А. Парамонов), Н. Н. Иорданский (2001) выделяет четыре главных направления эволюционного процесса: арогенез, аллогенез, эпектогенез и катагенез.

Под *арогенезом* понимается такой тип эволюционных преобразований группы, при котором происходит усложнение организации, поднимающее ее в целом на более высокий уровень, и повышается независимость организма от внешней среды. При арогенезе организмы приобретают адаптации, не только полезные для существования в занимаемой ими экологической нише, но и создающие возможность для выхода этих форм или их ближайших потомков за пределы данной адаптивной зоны и проникновения в новые среды обитания, еще не занятые другими организмами того же уровня развития. Возникновение особенностей, открывающих перспективы дальнейшего освоения новых обстановок среды – это основная черта арогенеза. Примерами арогенезов в эволюции позвоночных являются преобразования, которые привели к возникновению различных классов позвоночных (появление челюстей у рыб, рычажных конечностей и легких – у предков земноводных, зародышевых оболочек яйца – у пресмыкающихся, теплокровности – у млекопитающих).

Заметим особо, что арогенез не зависит от преобразований экосистем, хотя и способствует освоению новых местообитаний. Характер преобразований организмов определяется в гораздо большей мере природой их организации, чем характером изменений внешних условий (Иорданский, 2001).

Под названием *аллогенез* понимаются преобразования организма, имеющие характер частных приспособлений, связанных с изменениями среды. При аллогенезе, являющем собой наиболее обычный путь эволюции, не происходит ни значительного усложнения организации, ни ее упрощения. С аллогенезом связана многосторонняя адаптивная радиация как ре-

зультат приспособления к различным средам. Примером аллогенеза может служить эволюция рептилий, которые после своего становления встали на путь усиленной адаптивной радиации. При этом часть органов преобразовывалась значительно, другие изменялись в меньшей степени, но общая организация рептилий в целом не повышалась и не подвергалась заметным регрессивным изменениям. Другой пример аллогенной эволюции представляет собой адаптивная эволюция млекопитающих в кайнозой.

При аллогенезе происходит *специализация* организмов, т. е. приспособление к существованию в определенной среде. Чем уже среда, к которой приспособлен организм, тем глубже его специализация. При этом если данная среда не только своеобразна, но и упрощена, то упрощается и организация животного. Переход к жизни в крайне простых условиях существования, например к паразитическому образу жизни, приводит к значительному регрессу, выражающемуся в атрофии нефункционирующих органов.

Эпектогенезы – это эволюционные преобразования, которые значительно увеличивают адаптивные возможности данной группы, позволяя расширить старую или занять новую адаптивную зону, оказывают существенное влияние на организм в целом, но не изменяют общий уровень организации. Они сохраняются длительное время в ходе адаптивной радиации и становятся признаками крупных таксонов. Примерами эпектогенезов являются кожное дыхание у земноводных, раковина моллюсков, особенности осевого скелета и мускулатуры тела змей, связанные с особым способом передвижения этих пресмыкающихся, приобретение живорождения.

Катагенез характеризуется регрессивными изменениями, приводящими к понижению и упрощению уровня организации. Обычно он связан с переходом организмов к жизни в упрощенных условиях среды. В этих условиях некоторые органы оказываются целиком или частично излишними, что ведет к их редукции и к исчезновению функционально связанных с ними частей организма. В большинстве случаев катагенез связан с переходом к малоподвижному или сидячему образу жизни. Таким путем, видимо, произошли от более высокоорганизованных предков мшанки, усоногие раки, птеробранхии, оболочники и др. Общая дегенерация не тождественна упадку группы и при избытке пищи может привести к увеличению численности и интенсивной дивергенции, как это можно видеть на примере мшанок.

Между разными типами изменений организмов, связанных с различными направлениями эволюционного процесса, нет резких границ. Более того, преобразования общего значения (т. е. аро- и эпектоморфозы) обычно развиваются в филогенезе из частных приспособительных изменений – алломорфозов. Один и тот же орган может иметь значение и частной адаптации, и адаптации общего значения – в зависимости от степени своего развития и общей роли в организме. В эволюции алломорфоз может преобразоваться в эпектоморфоз, а этот последний – в ароморфоз (Иорданский, 2001).

4.6.2. Закономерности эволюционного процесса

Наблюдение за характером развития различных филогенетических групп ископаемых организмов позволило палеонтологам выдвинуть целый ряд умозаключений. Оценка их важности разными специалистами была различной. В связи с этим одно и то же утверждение рассматривалось одними как правило, другими – как закономерность, третьими – как закон, а четвертыми – лишь как эмпирическое обобщение. К настоящему времени сформулировано уже более двух десятков таких умозаключений. Мы рассмотрим лишь несколько.

Необратимость эволюции. Мы уже говорили выше о необратимости эволюции как о принципе стратиграфии, имеющем общегеологическое значение. В биологии это положение было выдвинуто в качестве «закона эволюции» в 1893 г. Л. Долло, предложившим для него такую формулировку: «*Эволюция – процесс необратимый, и организм не может вернуться к прежнему состоянию, уже осуществленному в ряду его предков*». Например, рептилии, появившиеся на каком-то этапе эволюции от примитивных амфибий, как бы ни шла дальше эволюция, не могут вновь дать начало амфибиям. Вернувшиеся в море рептилии (ихтиозавры) и млекопитающие (киты) никогда не становились рыбами.

В общей форме можно сказать, что если какая-либо группа организмов в процессе эволюции «возвращается» в адаптивную среду существования её предков, то её приспособление к этой среде будет иным. Это хорошо понятно, т. к. история не проходит бесследно и, возвращаясь в прежнюю среду, группа не может стать полностью идентичной группе, когда-то вышедшей из неё.

В наше время правило необратимости эволюции получило существенное уточнение. Можно говорить о возможности повторного возникновения признаков. Но признание *обратимости отдельных признаков* в филогенезе не означает признание обратимости эволюционного процесса в целом.

М. А. Шишкин (1968) отмечает, что организм есть конкретность; всякая же конкретность безгранична в своем содержании, т. е. может быть полностью описана лишь с помощью бесконечной суммы признаков. Признак есть конечная по содержанию абстракция и поэтому повторим абсолютно; орган же есть бесконечная реальность, как и весь организм, и поэтому реально неповторим. Сравниваются лишь структурные типы особей или систематических групп (видов, родов и т. д.), т. е. наборы их диагностических признаков, известных к данному моменту. Такая характеристика может быть для любой группы сколь угодно подробной, но все же она всегда конечна, поскольку ограничена существующим уровнем знаний. Повторение же в эволюции конечной суммы признаков теоретически возможно и тем скорее, чем она меньше. Какого-либо биологического механизма, устраняющего возможность ограниченного повторения, не существует.

Прогрессивная специализация филогенетических ветвей (правило Ш. Депере). Сущность этого закона заключается в том, что *группа, вступившая на путь специализации, как правило, в дальнейшем развитии будет идти по пути все более и более глубокой специализации* (Яблоков, Юсуфов, 2006). Это обусловлено тем, что животное, организация которого несет черты специализации, обычно не способно выйти за границы условий той среды, в которой оно исторически развивалось, и может лишь в ее пределах избрать себе еще более частную среду. Последнее означает дальнейшую, всё более глубокую специализацию в данном направлении.

Если в процессе эволюции одна из групп позвоночных приобрела адаптации к полету, то на последующем этапе эволюции это направление адаптации сохраняется и усиливается (например, птеродактили в свое время все более приспособлялись к жизни в воздухе) (Яблоков, Юсуфов, 2006). Другим примером прогрессирующей специализации может служить постепенное превращение пятипалой стопоходящей конечности первичных копытных в одно- или двухпалую пальцеходящую конечность большинства современных копытных.

Для узкоспециализированного организма всегда существует угроза отстать от темпов изменения среды. Поэтому изменение частных условий существования ставит специализированную ветвь под угрозу первоочередного вымирания. Однако сама по себе высокая специализация является непосредственной причиной вымирания. Известно много длительно существовавших специализированных групп и отдельных крайне специализированных форм. Но большинство узкоспециализированных групп животных и растений всё-таки вымерло.

Происхождение новых групп от неспециализированных предков (правило Э. Копа). Суть этого правила заключается в том, что *новые крупные группы организмов берут свое начало не от высших представителей предковой группы, а от сравнительно примитивных, неспециализированных*. Так, млекопитающие возникли не от высокоспециализированных рептилий, а от неспециализированных териодонтов. В царстве растений голосеменные растения произошли не от специализированных, а от примитивных папоротникообразных. Это объясняется тем, что неспециализированные организмы легче переходят из одной среды в другую в силу их устойчивости к переменам. Жесткие требования среды и конкуренция вызывают к жизни соответствующие приспособления, которые оказываются перспективными и выводят новую группу на путь их совершенствования.

Однако это правило оказывается далеко не всеобщим. Специализация редко затрагивает в равной степени все органы и функции организма. Остающиеся неспециализированными органы и системы могут открыть группе дорогу в другую адаптивную зону. С другой стороны, признаки, специализированные в одной среде, могут быть неспециализированными в другой. Например, переход к наземному образу жизни у позвоночных осуществили кистепе-

рые рыбы, способные передвигаться по твердому субстрату, заглатывать и использовать для дыхания кислород воздуха, т. е. формы, крайне специализированные в этом отношении по сравнению с остальными видами рыб. То есть при определенных условиях и неспециализированные, и специализированные формы могут стать родоначальниками новых, прогрессивных ветвей древа жизни.

4.6.3. Проблема неограниченности эволюционного процесса

Вопрос о том, ограничен ли эволюционный процесс или же эволюция беспредельна, является дискуссионным. Ограничимся лишь изложением главных выводов по данному вопросу. Прежде всего необходимо признать справедливым высказывание Ч. Дарвина, что *органическая эволюция в целом является неограниченной*, т. к. само существование органических форм предполагает их непрерывное историческое развитие. Можно даже говорить о законе неограниченности и неизбежности эволюционного процесса, выраженного в непрерывном обновлении форм жизни в филогенетических ветвях. Справедливость этого положения вытекает из того, что развитие организмов происходит на фоне изменяющихся условий среды, вследствие чего абсолютная гармония организма и окружающей среды является недостижимой. Поэтому виды, существуя в эволюционных изменениях, всегда находятся на пути к недостижимому абсолютному совершенству. Любой организм в процессе жизнедеятельности воздействует на среду обитания и обуславливает ее изменение. А это вызывает возникновение новых отношений организма со средой и необходимость новых адаптаций, иными словами, новых эволюционных преобразований. И хотя пределы изменемости каждой отдельной формы ограничены, вид как целое обладает более широкими возможностями изменемости вплоть до превращения в другие виды.

Изложенным выше представлениям о неограниченности эволюции противостоят концепции, утверждающие в той или иной форме ограниченность органической эволюции. К числу их относится теория филогеонтизма (старения филогенетических ветвей), принимаемая некоторыми современными исследователями. К предельческим концепциям относятся также представления о «тупиках сверхспециализации», «прогрессирующем уменьшении изменчивости» и т. п.

Признание неограниченности эволюции в изложенном выше ее понимании не означает, однако, допущения беспредельных возможностей эволюционного процесса в отношении занятия представителями какой-либо группы организмов любой адаптивной зоны. Дело в том, что эволюционный процесс характеризуется не только приобретением особенностей, обеспечивающих возможность освоения новых адаптивных зон, но и возникновением системы запретов, не позволяющей на данном уровне организации осваивать определенные участки среды.

4.6.4. Направленность эволюционного процесса

Выше мы говорили о главных направлениях эволюционного процесса. Теперь же будем говорить о направленности эволюции как о закономерном проявлении тенденций, определенным образом организующих эволюционный процесс. Как видим, несмотря на сходство звучания речь в том и другом случае идет о совершенно разных явлениях.

Проблема *направленности эволюции* является одной из интереснейших проблем эволюционного учения. Дарвинизм признаёт, что эволюция происходит путем отбора из практически неисчерпаемого материала изменчивости. Противоположная точка зрения утверждает, что материал изменчивости ограничен, у организмов есть тенденция изменения в определенном направлении, которая в первую очередь и определяет направление эволюции. Как кристаллы растут, принимая определенную форму, так и филогенетические линии растут, следуя каким-то внутренним закономерностям. Эту идею чаще обозначают как «ортогенез» – развитие в определенном направлении, хотя есть и другие названия, такие как номогенез, автогенез, ологенез, автоэволюция, батмизм и др. Есть и другое понимание термина «ортогенез»: когда родственные группы организмов можно представить как ряды превращений в определенном направлении (Попов, 2003, 2006).

Мысль об эволюции в определенных направлениях высказывалась неоднократно. Она сочеталась с ламаркизмом, сальтационизмом, неodarвинизмом и другими эволюционными представлениями. Нет ни одного автора, которого можно было бы назвать первым или главным автором концепции направленной эволюции. Даже в историко-научной литературе приводятся разные ссылки на первоисточники этой концепции. К настоящему времени известно уже не менее 20 теорий, которые так или иначе связаны с ортогенезом (Попов, 2003, 2006).

Сама идея направленности эволюционного процесса была в значительной мере скомпрометирована механической трактовкой многими ее сторонниками, однако в последнее время приобретает все большее признание как среди биологов, так и среди философов. Л. П. Татаринов (1987) отмечает, что проявления направленности эволюции весьма разнообразны и распространены очень широко. При расширенном понимании к ним относят и общую тенденцию прогрессивного усложнения организмов в ходе эволюции, и более частные процессы. И. Ю. Попов (2006) выделяет следующие явления, к которым обращались сторонники идеи направленной эволюции.

1. Существование неадаптивных признаков. Например, разные варианты типов симметрии, характера расположения и жилкования листьев трудно объяснить адаптацией. Но эти признаки разделяют крупные таксоны растений и, таким образом, указывают на главные направления эволюции.

2. Конвергенции и параллелизмы, т. е. черты сходства между организмами, принадлежащими к разным таксонам. Например, некоторые группы

головноногих моллюсков и фораминиферы демонстрируют большое сходство в строении спирально закрученных раковин, что не объясняется родством или приспособлением к одинаковым условиям.

3. Ограничения изменчивости: реальное число вариантов изменчивости меньше теоретически ожидаемого. Например, в отличие от куриц, нельзя вывести гусей с хохлами, с большими хвостами, шпорами и т. п. Наиболее известный пример из современных исследований – отсутствие голубоглазых дрозофил.

4. Существование направлений эволюции, которые ведут к вымиранию, и инерция в эволюции. Известны случаи, когда группы эволюционируют в определенном направлении, даже если направление нерационально. Например, у нескольких групп мшанок отмечена общая особенность: в процессе эволюции количество кальция увеличивается, стенки скелета каждой особи колонии становятся толще, пространство для внутренних органов уменьшается, жизнь мшанок делается невыносимой, и они вымирают. Создается впечатление, что они не способны эволюционировать как-то иначе или не эволюционировать вовсе и сами себе строят могилу.

5. Новообразования в эволюции. Отбор и адаптация объясняют эволюцию уже существующих органов, а появление новых органов данными процессами не объяснить. Поэтому обращали внимание на явления предвращения признаков: на ранних этапах эволюции группы появляются органы или их зачатки, которые на следующих стадиях эволюции исчезают, а потом снова появляются как адаптация или как выход на новый этап эволюционного развития. Похожее явление – появление органов, которые бесполезны сами по себе, но создают предпосылку для развития «полезных» органов у далеких потомков их обладателей. После появления они не исчезают у ближайших потомков, а продолжают развиваться, но в этом процессе долгое время не наблюдается приспособительного значения. Например, у предков рогатых животных вместо рогов были только небольшие бугорки, которые не приносили никакой пользы, но тем не менее развивались.

Адаптации, внешне производящие впечатление направленности, реализуются в ходе эволюции почти всех достаточно подробно изученных филогенетических стволов. Палеонтология знает много примеров того, как эволюция целых групп организмов на протяжении десятков миллионов лет шла в определенном направлении. Классический пример такой эволюции – эволюция лошадей. Их предок, гиракотерий, был высотой 35 см в холке и имел четыре пальца на передних конечностях и три – на задних. Но чем ближе к современности, тем больше ископаемые представители этой группы становятся похожи на нынешних лошадей. Подобные факты приводили многих палеонтологов к выводу о направленной изменчивости организмов. Но ведь согласно эволюционной теории наследственная изменчивость не имеет направленности. Как же это объяснить? Дело в том, что эволюция в таких ортогенетических рядах становится направленной оттого, что ее ограничивает

естественный отбор, а не оттого, что направлена наследственная изменчивость. Если на протяжении миллионов лет отбор действует примерно в одном направлении (такой отбор называется ортоселекцией), то результат будет почти таким же, как если бы направлена была исходная наследственная изменчивость. В приведенном примере с лошадиными ортоселекция действовала в сторону приспособления их к быстрому бегу и травоядности в условиях открытых пространств. То, что мы имеем дело с направленным отбором, а не направленной изменчивостью, подтверждают факты постоянного ответвления от основного ствола лошадиных различных боковых ветвей. Вымирание этих боковых линий придало картине эволюции лошадиных направленный характер.

Таким образом, внешняя направленность, выражающаяся в развитии определенных особенностей строения в ходе эволюции, обусловлена не «внутренними закономерностями», а действием отбора. В некоторых случаях направленная эволюция может быть обусловлена и прямым влиянием среды, например, зависимость толщины и массивности раковины моллюсков от солености водоема (Татаринов, 1987).

Однако у проблемы направленности в эволюции есть и второй аспект: существование тех или иных эволюционных «запретов», обусловленных механизмами онтогенеза. Например, у червеобразного существа практически нет онтогенетических предпосылок для формирования крыльев, но такие предпосылки есть у млекопитающих (в виде подвижного скелета конечностей и подвижной кожи). У человека нет онтогенетических предпосылок для формирования кисточки на кончике хвоста потому, что у него нет развитого хвоста, но такие предпосылки есть у других млекопитающих с развитым хвостом. Эти примеры показывают, что изменчивость свойств и признаков у любого вида живых организмов всегда ограничена.

Выражением существования неких «объективных эволюционных запретов» является и то обстоятельство, что природа за миллиарды лет эволюции не «изобрела» колеса как эффективного способа передвижения. Несомненно, это произошло потому, что существует определенная система структурно-механических запретов. Чем выше ранг таксона, тем меньше в целом число запретов. Млекопитающие как класс освоили все имеющиеся на планете адаптивные зоны, тогда как отдельные отряды млекопитающих в процессе специализации приобрели многочисленные системы запретов, препятствующие проникновению в ту или иную зону (например, китообразные – систему запретов жизни на суше, рукокрылые – жизни под землей и т. п.).

В ходе эволюции организмы стремятся воспроизвести свои копии, но они не могут воспроизводить свои *абсолютно точные* копии долгое время из-за неизбежных мутаций, потому вид постепенно меняется в ходе смены поколений, даже если он хорошо приспособлен к окружающей среде. А поскольку организмы изменяются только в определенных направлениях из-за физических и химических ограничений, то и вид меняется в определенных

направлениях, даже если сформировавшиеся направления нерациональны и ведут к вымиранию (Попов, 2006).

Из сказанного можно заключить, что в основе направленности эволюции лежит, с одной стороны, направленное действие естественного отбора на протяжении значительного числа поколений, а с другой – система запретов, обусловленная организацией данной группы. Таким образом, современная эволюционная теория не отвергает явление направленности в эволюционном развитии, а подчеркивает его как необходимое следствие характера протекания процесса эволюции. Нельзя не отметить, что направленность эволюции выявляется только при изучении путей развития целых таксонов, состоящих из множества видов. Она имеет вероятностную природу. Эволюционная судьба каждого отдельно взятого вида во многом определяется случайными факторами (Татаринов, 1987).

4.6.5. Неравномерность эволюционного процесса

Неравномерность эволюционного процесса, т. е. ускорение и замедление его темпов, вполне очевидны. В этой проблеме намечается два главных аспекта – неравномерность темпов эволюции различных групп и неравномерность темпов развития одной группы. Первый аспект отчетливо проявляется в том разнообразии уровней организации, которые были достигнуты к настоящему времени представителями различных типов организмов. На втором аспекте остановимся несколько подробнее.

Данные изучения различных групп организмов указывают на то, что в истории каждой группы имело место периодическое ускорение и замедление темпа эволюционного процесса, т. е. наблюдалось чередование фаз ускоренного и замедленного развития. В фазу ускоренного развития (типогенез = фаза взрывной эволюции = эксплозивные периоды расцвета) происходит становление нового типа организации, сопровождающееся дифференциацией высших таксонов. Она осуществляется в относительно короткие сроки (от нескольких миллионов до 20–30 млн лет), в течение которых происходит формирование новой группы.

Фазы ускоренного развития обычно сменяются фазами замедленной эволюции (типостаз = процветание = эволюционный расцвет). Сформировавшийся в предыдущую фазу основной план организации данной группы в дальнейшем остается постоянным в различных филетических линиях в течение значительных промежутков времени (многие десятки и даже сотни миллионов лет). Лишь немногие филетические линии в пределах данной группы могут спустя длительное время вступить в новый период типогенеза того же масштаба. В то же время микроэволюционные процессы идут непрерывно как в период типогенеза, так и во время типостаза. На их основе происходит адаптивная радиация – разветвление филетических линий с возникновением новых видов, связанное с развитием различных частных приспособлений. В периоды замедленной эволюции эволюирующая группа

часто достигает максимума видového разнообразия, связанного с установлением динамического равновесия между возникновением и вымиранием видов. Чередование периодов типогенеза и типостаза придает макроэволюции своеобразный пульсирующий характер (Иорданский, 2001).

Периоды замедленной эволюции филума прерываются либо новой ароморфной фазой с общим подъемом морфофизиологического уровня и адаптивной радиацией группы, либо фазой эволюционного упадка, эволюционного регресса или кризиса, сопровождающейся явлениями усиленной специализации и вымиранием узкоспециализированных форм. В одних случаях эти фазы завершаются полным вымиранием группы, в других – после преодоления кризиса может наступить новый период эволюционного процветания.

В качестве примера можно привести филогенез высших наземных позвоночных – амниот. Формирование рептилий происходило в каменноугольном периоде в течение 25–30 млн лет. Следующие 300 млн лет в филогенезе пресмыкающихся происходила интенсивная адаптивная радиация, но в большинстве филетических линий общий тип организации пресмыкающихся не изменился (период типостаза). Некоторые филетические линии высших зверообразных рептилий (териодонтов) в позднепермскую эпоху вступили в новую фазу типогенеза, продолжавшуюся до позднего триаса (30–35 млн лет). За это время сложились основные черты организации млекопитающих. В последующие 200 млн лет в филогенезе млекопитающих наблюдалась главным образом адаптивная радиация; более поздние преобразования общего значения (развитие живорождения, совершенствование аппарата передвижения, усложнение головного мозга и др.) имели меньший масштаб и стали признаками подклассов высших млекопитающих – сумчатых и плацентарных. Типогенез птиц проходит во второй половине юрского периода (30–35 млн лет), а в последующие 140 млн лет наблюдалась интенсивная адаптивная радиация этого класса, сопровождавшаяся некоторым усовершенствованием основных особенностей организации птиц (Иорданский, 2001).

4.6.6. Периодичность и этапность в развитии организмов

Терминами «периодичность» и «этапность» обозначаются разные явления.

Периодичность в развитии фауны тесно связана с седиментационными ритмами и в осадках открытого моря выражена слабее. Она впервые была установлена для замкнутых и полузамкнутых неогеновых бассейнов Паратетиса; наблюдается у фораминифер позднего палеозоя.

Этапность развития организмов и отдельных филумов – явление планетарное, устанавливаемое на филогенетической основе и характеризующееся следующими особенностями.

1. Этап – определенное звено эволюции таксонов, имеющих общее происхождение, направление и темпы развития.

2. Этапы распадаются на три фазы: роста, расцвета (адаптивной радиации), вымирания.

3. Рубежи этапов определяются по ускорениям темпов эволюции (ароморфным преобразованиям).

4. Темпы эволюции нарастают в первую половину этапа и снижаются к его концу.

Причиной этапности эволюционного процесса являются не внешние процессы, не отражение этапности развития земной коры. Она предопределена самой природой живого. В этом отличие этапности от периодичности. Общая схема этапа примерно такая (Марков, Неймарк, 1998).

1. Фаза роста. Появление нового старшего таксона означает выход в новую адаптивную зону. Сначала в ней очень много свободного пространства, ничто не сдерживает экспансию видов-пионеров. Стабилизирующий отбор в это время слаб, а изменчивость – велика. Виды-пионеры «расхватывают» адаптивную зону крупными кусками, т. е. имеют большие ареалы, и очень устойчивы в изменяющихся условиях существования. Это неспециализированные виды, очень изменчивые и пластичные, но во многом «примитивные». Намечаются все основные направления морфо- и экогенеза формирующегося таксона. По всей видимости, на этом этапе слабеют механизмы репродуктивной изоляции, большую роль может играть гибридизация.

2. Фаза расцвета. По мере заполнения адаптивной зоны межвидовая конкуренция обостряется, что ведет к специализации видов. Видовые ниши сжимаются и дробятся. Виды, появляющиеся на этом этапе, более конкурентоспособны, но менее устойчивы к переменам среды. Их ареалы и средняя продолжительность существования сокращаются. На смену вымирающим видам приходят новые, обычно из числа ближайших родственников. Таким образом, таксономическое разнообразие поддерживается на более-менее постоянном уровне.

3. Фаза упадка. Специализация видов становится все более глубокой, их изменчивость резко снижается по сравнению с пионерами. В погоне за повышением конкурентоспособности виды теряют способность переносить резкие колебания среды и эволюционную пластичность. Они уже не могут занимать новые ниши, которые освобождаются при усиливающемся вымирании из-за снижения устойчивости к переменам. Появление новых видов перестает компенсировать вымирание старых. Начинается спад разнообразия, который может завершиться полным вымиранием группы.

4. Реликтовая фаза. Иногда от таксона могут сохраниться единичные виды – реликты, которые могут просуществовать еще очень долго. В качестве реликтов обычно сохраняются самые примитивные виды практически уже вымершего таксона, т. к. обладают самой высокой изменчивостью, устойчивостью и самыми широкими потенциальными нишами. Они не сильны в конкуренции с себе подобными, но устойчивы к изменениям среды.

В принципе после более или менее глубокого упадка может снова наступить подъем и новый расцвет. В течение фазы упадка в адаптивной зоне так-

сона освобождается много пространства, что стимулирует видообразование. Глубокая специализация может быть снята с помощью перехода к размножению на более ранних этапах развития (неотения) и отбрасывания поздних стадий индивидуального развития. Таким образом, группа может «возродиться» даже после почти полного вымирания. Например, на рубеже перми и триаса кораллов осталось так мало, что они выпали из палеонтологической летописи: раннетриасовые кораллы до сих пор не обнаружены. Но в мезозое они возродились и опять стали многочисленными и разнообразными.

Развитие каждой группы организмов происходит по своим закономерностям. Поэтому трудно предполагать совпадение во времени переломных моментов у различных филумов. Совпадение – редкость, осуществляемая лишь при общепланетарных изменениях физико-географических условий.

4.6.7. Распространение ископаемых остатков организмов в разрезе

Остатки организмов обычно представляют собой включения в слое. Характер распределения таких включений в породе влияет на характер расчленения и сопоставления разрезов.

Распространение ископаемых в разрезе по вертикали может быть равномерным. В этом случае можно обнаружить раковины или отпечатки раковин в каждом сантиметре разреза. Ясно, что приводимые определения действительно относятся ко всему слою и что в таком слое имеется фактическое совпадение литологических и биостратиграфических границ. Это достаточно редкое явление.

Наиболее часто ископаемые встречаются в виде отдельных прослоев в пределах слоя. Распространение ископаемых остатков в данном случае не связано с границами слоя, и приводимая палеонтологическая характеристика чаще всего относится к какой-либо его части. Это вынуждает нас распространять находки, сделанные на отдельных уровнях, на значительную часть слоя и проводить границу между зонами условно или на основании других групп фауны. *Такое совмещение литологических и палеонтологических границ является вынужденной мерой.* Но иногда такие экстраполяции оказываются результатом недостаточного числа наблюдений, и выводы, сделанные на их основании, опровергаются более тщательными сборами.

Органические остатки неравномерно распределены и по простиранию слоя. Даже в пределах одного обнажения встречаются участки, обогащенные остатками фауны, и участки того же слоя, в пределах которого фаунистические остатки редки или даже отсутствуют. *Это обстоятельство требует очень внимательной работы на слое с обязательным просмотром по возможности всего выхода.* Известно много случаев, когда в «немых» слоях при детальном работах обнаруживались богатые фауны.

4.6.8. Значение отдельных групп ископаемых организмов для стратиграфии

Почти с самого зарождения биостратиграфического метода при расчленении и корреляции отложений разных систем одним группам фауны давалось предпочтение перед другими. Это было связано с неравномерностью распределения отдельных групп организмов во времени и в пространстве, различными темпами их эволюции, степенью приуроченности к фациям, частотой встречаемости. Группы, на которых основана широкая корреляция систем, называются архистратиграфическими (или ортофаунами) в противовес остальным парастратиграфическим группам.

Горизонты, установленные в результате изучения ортофаун, позволяют проводить самые детальные сопоставления со стандартными разрезами данной системы. Необходимость в этом возникает при составлении мелко-масштабных и обзорных геологических и палеогеографических карт, при разного рода обобщениях, при выяснении взаимоотношений местных стратиграфических единиц. Составление крупномасштабных карт, корреляция близко расположенных разрезов, составление стратиграфических схем отдельных регионов чаще основываются на парастратиграфических группах. А детальные сопоставления, основанные на биостратомических признаках слоев, возможны только с использованием парастратиграфических групп. Значит, *стратиграфическая ценность отдельных групп зависит от конкретных условий и задач, стоящих перед стратиграфом*. Например, при поисковых и разведочных работах на закрытых территориях наибольшее значение имеют микрофоссилии, в первую очередь фораминиферы, а аммониты используются для увязки комплексов фораминифер, хотя являются самым совершенным инструментом биостратиграфии. Бывают и случаи, когда в пределах обширных бассейнов архистратиграфические группы практически полностью отсутствуют. В частности, в верхнемеловых отложениях Восточно-Европейской платформы весьма редки аммониты.

Таким образом, разделение ископаемых остатков организмов на архистратиграфические и парастратиграфические группы имеет прежде всего методическое значение, т. к. позволяет определить место отдельных групп фауны в общем комплексе биостратиграфических исследований, но не определяет их ценности для стратиграфии вообще.

Архистратиграфические группы должны характеризоваться *быстрой эволюцией, широким распространением и относительной независимостью от фаций*. Проследить эволюционные изменения легче у высокоорганизованных организмов, обладающих разнообразными морфологическими признаками. Поэтому классическими архистратиграфическими группами стали аммоноидеи, граптолиты, трилобиты. Но развитие палеонтологии способствует привлечению все новых организмов для широких детальных сопоставлений, и статус отдельных групп со временем меняется. Так, в первой половине XX в. радиолярии ещё считались группой, не имеющей важного зна-

чения для стратиграфии. Однако в 70-х гг. уже были выделены радиоляриевые зоны в осадках Атлантического океана, и сейчас эта группа является одной из основных при корреляциях верхнемеловых и кайнозойских отложений. Конодонты, открытые в середине XIX в., в течение столетия не привлекали внимание стратиграфов. Сейчас же она считается архистратиграфической для интервала от ордовика до триаса включительно.

Говоря о распространении, следует иметь в виду, что не может быть организмов, распространенных повсеместно. Любой организм занимает специфическую экологическую нишу, которая характеризуется определенным интервалом глубин, характером грунта, соленостью воды, температурой и т. п. В соответствии с этими потребностями организмы распространены в пределах какой-то площади, называемой ареалом. Кроме абиотических факторов, ареалы всегда ограничены давлением биотических факторов среды, таких как пища, конкуренты, враги.

Распространение бентосных организмов контролируется наиболее четко глубиной и характером грунта. Поэтому в пределах своего диапазона существования во времени они могут появляться в разрезе неоднократно в периоды существования благоприятных условий и исчезать из разреза, когда условия существования оказываются неблагоприятными. Но с фациями связан не только бентос. Свободноплавающие и планктонные организмы также обитают в определенных интервалах глубин и, следовательно, предпочтительно захороняются в отложениях, соответствующих этим глубинам. Посмертный разнос раковин в какой-то степени сглаживает фациальные различия между ассоциациями nekтона и планктона и облегчает широкие корреляции отложений с остатками пелагических организмов, но полностью отрицать их связь с определенными фациями нельзя.

Вышесказанное свидетельствует о том, что для широких стратиграфических корреляций наиболее подходят пелагические организмы. Поэтому архистратиграфические фауны – в первую очередь фауны пелагические. Это не значит, что с той же целью не могут использоваться бентосные организмы: расчленение кембрийской системы основано на трилобитах, крупные фораминиферы имеют важное значение для сопоставлений верхнепалеозойских и палеогеновых отложений, а двустворчатые моллюски рода *Buchia* – для верхнеюрских и нижнемеловых. Но их использование для хроностратиграфии связано со значительными трудностями из-за ограниченных миграционных способностей этих организмов. По этой причине детальные корреляции по бентосу в пределах одного региона оказываются трудно сопоставимыми со стратиграфической схемой другого. Так, трудно сопоставимы кембрийские трилобитовые фауны Восточной Сибири и Северной Америки.

Различия темпов эволюции различных групп фауны обуславливают необходимость ограничиться для каждой системы одной архистратиграфической группой, на эволюции которой строится непротиворечивая хроно-

стратиграфическая шкала. Совпадение во времени рубежей смены комплексов различных групп фауны, как правило, либо приурочено к перерывам или резким сменам обстановок осадконакопления, либо является результатом чересчур смелых экстраполяций биостратиграфов. Более полные разрезы или повторные сборы фауны обычно опровергают такое удобное для практической стратиграфии совпадение.

Однако цели стратиграфии не ограничиваются установлением изохронных поверхностей планетарного распространения. При проведении геологосъемочных и поисково-разведочных работ не меньшее значение имеют более узкие и часто более дробные корреляции разрезов. Для этих целей большее значение имеют парастратиграфические группы. Здесь наиболее важным является массовое распространение фауны в разрезах и по площади. Даже у организмов с невысокими темпами эволюции удается установить изменения на протяжении значительных возрастных интервалов (десятки миллионов лет). Поэтому при массовом материале можно выделить горизонты с уникальным сочетанием видов, каждый из которых по отдельности имеет значительно больший стратиграфический интервал. В этом случае стратиграфические границы по различным группам фауны также не совпадают.

Ниже приводится общая характеристика стратиграфического значения некоторых наиболее важных групп древней фауны и флоры.

Простейшие. Стратиграфическое значение имеют простейшие, строившие при жизни минеральный скелет, способный сохраняться в ископаемом состоянии. Это фораминиферы и радиолярии. Фораминиферы используются для дробного (зонального) расчленения каменноугольных, пермских, мезозойских и кайнозойских отложений.

Радиолярии используются главным образом в стратиграфии мезокайнозойских отложений, но в последнее время они применяются и в стратиграфии палеозойских осадков, особенно при изучении кремнистых (яшмовых) толщ, в которых они часто являются единственными органическими остатками.

Археоциаты – важная группа фауны в биостратиграфии нижнего кембрия.

Стрекающие. Из этого типа наиболее важны *кораллы*. Стратиграфическое значение их, как правило, ограничивается региональными и местными схемами. *Табуляты* наиболее эффективно используются в стратиграфии среднего, верхнего ордовика и силура. *Четырехлучевые кораллы* имеют наибольшее значение с девона до перми, и особенно – в карбоне. В мезозое на смену палеозойским подклассам приходят *шестилучевые кораллы*, максимально используемые для расчленения юры, мела и палеогена.

Брахиоподы. Наибольшее стратиграфическое значение имеют замковые брахиоподы, но используются также и беззамковые. Эти организмы были наиболее многочисленны в течение палеозоя, начиная с кембрия, а с ордовика и до конца палеозоя они являются одной из важнейших групп

бентосной фауны, используемой в региональной стратиграфии. С мезозоя их количество и разнообразие резко сокращается, уменьшается и их роль в стратиграфии. Они используются для выделения горизонтов в пределах отдельных зоогеографических провинций.

Моллюски. Это весьма разнообразный тип организмов, в составе которого три самых многочисленных класса, появившись в кембрии, просуществовали в течение всего фанерозоя и получили наибольшее применение в стратиграфии. Это двустворчатые, брюхоногие и головоногие моллюски.

Двустворчатые моллюски. В палеозое довольно немногочисленны, но, начиная с карбона, применяются в детальной стратиграфии угленосных отложений каменноугольных бассейнов. В мезо-кайнозойских отложениях двустворчатые моллюски составляют обычно большую часть фаунистических комплексов и служат для разработки региональных и местных схем. Некоторые их представители (монотиды, иноцерамы, бухии и др.) служат для разработки зональных шкал.

Брюхоногие моллюски. Расцвет этого класса приходится на мезокайнозой, поэтому существенной роли в биостратиграфии палеозоя они не играют. Вместе с другими группами фауны используются для комплексного обоснования биостратиграфических подразделений мезозоя. Их стратиграфическое значение возрастает для кайнозоя, особенно в местной и региональной стратиграфии континентальных четвертичных отложений.

Головоногие моллюски. В ордовике и силуре наряду с другими группами фауны определенную роль для расчленения и корреляции региональных и местных стратиграфических подразделений играют *наутилоидеи*, *эндоцератоидеи*, *ортоцератоидеи* и *актиноцератоидеи*.

Комплексы примитивных аммонитов с гониатитовой лопастной линией (*гонититов*) являются определяющими в характеристике большинства ярусных подразделений девонской, каменноугольной и пермской систем, а в некоторых случаях используются для их более дробного зонального расчленения. Наряду с ними, в стратиграфии верхнедевонских отложений большое значение имеют *климении*. В стратиграфии верхней перми и триаса ведущая роль принадлежит аммонитам с цератитовой лопастной линией (*цератитам*): на них строится зональное расчленение этих систем. Начиная с верхнего триаса и до конца мезозоя аммоноидеи со сложной (аммонитовой) лопастной линией являются главной группой фауны, позволяющей наиболее детально (до зон) расчленять морские отложения, определять их возраст и проводить широкие межрегиональные корреляции. Для расчленения юры и мела огромное значение имеют также белемниты.

Членистоногие. Из этой группы важное стратиграфическое значение имеют трилобиты и остракоды.

Трилобиты. Это группа, существовавшая на протяжении палеозоя и имеющая наибольшее значение в стратиграфии его нижней части. На трилобитах базируется зональное расчленение кембрия. В ордовике они сохра-

няют свое значение в качестве важной составной части фаунистических комплексов, характеризующих региональные стратиграфические подразделения. В силуре и девоне их значение еще больше уменьшается из-за редкой встречаемости: в качестве элементов фаунистических комплексов они служат для дополнительного обоснования возраста некоторых стратиграфических подразделений.

Остракоды. Существовали в течение всего фанерозоя. Стратиграфическое значение остракоды приобретают начиная с ордовика. По ним разработаны зональные схемы расчленения ордовикских, силурийских, девонских и карбоновых отложений, причем в девоне и карбоне они особенно разнообразны и многочисленны.

Однако в первую очередь они служат для выделения и корреляции региональных и местных стратиграфических подразделений, особенно в пределах нефтеносных и газоносных структур и угольных бассейнов. Мелкие размеры и многочисленность делают группу особенно важной в закрытых районах, где вся вещественная геологическая информация добывается с помощью бурения.

Иглокожие. В ископаемом состоянии наиболее часто встречаются остатки морских лилий и морских ежей. Членики стеблей криноидей могут использоваться для корреляции местных стратиграфических подразделений палеозоя и мезозоя и для обоснования возраста с точностью до отделов и ярусов. По остаткам морских ежей могут быть выделены достаточно дробные биостратиграфические подразделения в карбонатных верхнемеловых отложениях.

Граптолиты. По ним разработаны дробные схемы зонального расчленения ордовика, силура и нижнего девона. Кроме этого, они используются для определения возраста и корреляции региональных и местных стратиграфических подразделений.

Конодонты. Время существования этой группы от кембрия до мела. В последнее время они приобрели большое стратиграфическое значение. По ним разработаны схемы зонального расчленения целого ряда систем палеозоя и мезозоя. Наиболее многочисленны и разнообразны конодонты в ордовикских, верхнедевонских и триасовых отложениях.

Позвоночные. Остатки позвоночных встречаются на протяжении почти всего фанерозоя. Наземные позвоночные играют важную роль для корреляции континентальных отложений, начиная с карбона. По ним разработаны региональные стратиграфические схемы, например, для пермо-триаса, плио-плейстоцена. Остатки морских позвоночных могут использоваться для корреляции осадков уже с раннего палеозоя, однако на фоне беспозвоночных имеют подчиненное значение. Сборы остатков позвоночных достаточно трудоемки и требуют специальных знаний и подготовки.

Остатки растений. Различные части растений захороняются, как правило, по отдельности и изучаются разными специалистами. Поэтому палеоботаника разделилась на ряд разделов как по систематическим группам

(микроскопические водоросли, высшие растения), так и по остаткам определенных частей растений (палеопалинология, палеокарпология).

Отпечатки растений. В виде отпечатков встречаются прежде всего листья и побеги высших растений, но могут встречаться и отпечатки, фитолеймы или кутикулы водорослей, грибов, мхов и т. д. Поскольку высшие растения распространены на суше, их остатки имеют значение для стратиграфии континентальных отложений со среднего палеозоя до настоящего времени. Особенно велико их значение для угленосных отложений. Совместное захоронение растений и животных (рыб, моллюсков) в прибрежно-морских отложениях дает большие возможности для установления возраста и корреляции морских и континентальных осадков.

Палеопалинология. Пыльца и споры разносятся на большие расстояния и могут захороняться не только на континентах, но и в морских бассейнах вместе с морскими организмами. Поэтому они служат хорошей основой как для корреляции вообще, так и для корреляции морских и континентальных толщ в частности. Палеопалинология позволяет коррелировать отложения от докембрия до четвертичного периода.

Палеокарпология. Этот метод занимается изучением плодов, семян и мегаспор папоротникообразных. Наиболее применима палеокарпология для изучения неогеновых и четвертичных отложений.

Водоросли микроскопические. В основном изучаются диатомовые, золотистые и жгутиковые водоросли, объединяемые общим понятием «нанопланктон», и докембрийские водорослевидные образования. Диатомовый анализ имеет большое значение для стратиграфии кайнозойских отложений. Водоросли являются одной из немногих групп организмов, встреченных в докембрийских осадках, и поэтому имеют важное значение для их расчленения и корреляции. Большое стратиграфическое значение постепенно приобретают и другие представители нанопланктона.

4.6.9. Биостратиграфическое расчленение разрезов

Существует три типа основных стратиграфических операций. Первый – это расчленение разрезов. Второй – их корреляция, т. е. сопоставление частных разрезов в пределах одного района. Третий – это датировка, т. е. сопоставление удаленных разрезов, в том числе и расположенных в разных регионах, путем сравнения со стандартным разрезом или стандартной последовательностью хроностратиграфических подразделений. Все операции очень тесно связаны между собой. Расчленяя какой-либо разрез, геолог старается выделить такие единицы, которые можно будет проследить и в других разрезах. То есть уже при расчленении разреза возникают проблемы корреляции. При сопоставлении даже близко расположенных разрезов геолог исходит из возраста прослеживаемых стратонов. Биостратиграфическое расчленение частных разрезов предполагает изучение распространения в них отдельных представителей фауны и флоры и их комплексов. Знание фауны региона, даже в общих

чертах, оказывает существенную помощь. Например, находки цератитов определяют триасовую систему, двустворки рода *Buchia* указывают на верхнюю юру или неоком и т. д. Самые общие определения могут быть полезными даже при детальном построении: появление прослоя брахиоподового ракушняка в толще криноидных известняков обязательно будет отмечено каждым геологом, т. к. этот прослой можно будет проследить в качестве маркирующего горизонта.

Величина рассматриваемого стратиграфического интервала влияет на ранг привлекаемых для его обоснования таксонов органического мира: более узкий стратиграфический интервал требует таксоны меньшего ранга, хотя прямого соответствия уровней таксонов и ранга стратонамов не существует. При нынешнем уровне детального расчленения и сопоставления разрезов геологам приходится использовать видовые определения фауны.

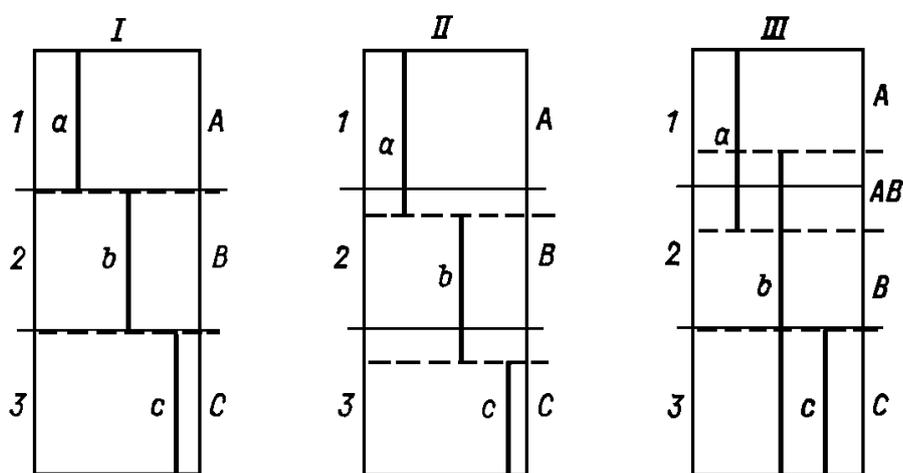


Рис. 17. Случаи распределения видов *a*, *b* и *c* по слоям *A*, *B* и *C* (по Д. Л. Степанову, М. С. Месежникову, 1979)

Характер распространения видов в разрезе влияет на результат биостратиграфического расчленения. В простейшем случае каждый из литологических слоев охарактеризован своим видовым таксоном (рис. 17). Таким образом, по видам *a*, *b*, *c* в разрезе выделяются биостратиграфические подразделения *A*, *B*, *C*, границы которых совпадают с границами слоев или пачек. Однако интервалы распространения организмов в разрезе могут не совпадать с литологическими слоями, и в этом случае будут выделяться отличающиеся по объему литологические и биостратиграфические единицы. Но чаще всего интервалы распространения отдельных видов в разрезе частично совпадают. В этих случаях биостратиграфические подразделения выделяются не по одному виду, а по сочетанию разных видов. Это позволяет проводить более дробное расчленение. В нашем примере перекрытие стратиграфических диапазонов трех видов позволяет выделить в разрезе не три, а четыре биостратона.

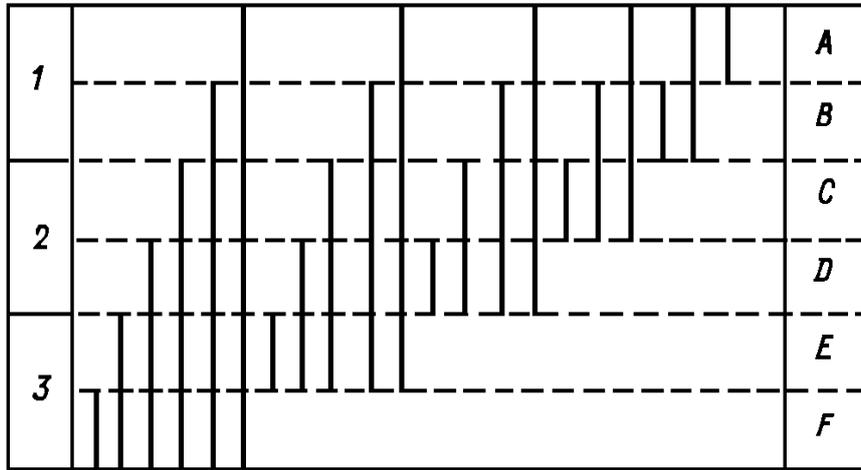


Рис. 18. Расчленение разреза по комплексу ископаемых форм: 1–3 – номера слоев; А–F – условные индексы биостратиграфических подразделений (по Д. Л. Степанову, М. С. Месежникову, 1979)

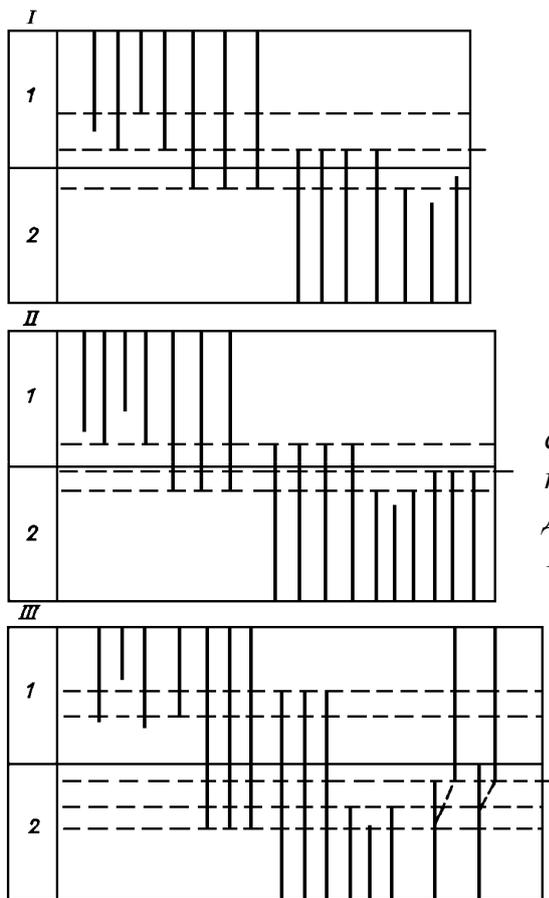


Рис. 19. Варианты проведения границ биостратиграфических подразделений по комплексам ископаемых форм (по Д. Л. Степанову, М. С. Месежникову, 1979)

Детальные биостратиграфические подразделения должны основываться на точно установленных интервалах распространения привлекаемых для их обоснования организмов, что является нелегкой задачей. Поэтому при установлении границ биостратиграфических подразделений лучше выбирать

уровни, обозначаемые появлением или исчезновением не одного, а нескольких таксонов (рис. 18). При этом границы, проведенные по появлению или исчезновению таксонов, равноценны.

На рис. 19, I показаны три возможных варианта проведения биостратиграфической границы. При этом нижний уровень, определяемый одним исчезающим и тремя появляющимися видами, принципиально равнозначен среднему, устанавливаемому по четырём исчезающим видам, но оба они имеют преимущество перед верхним уровнем, который контролируется появлением лишь одного вида. Однако в геологической практике предпочтение может быть отдано и менее контрастному уровню в том случае, когда он совпадает с границей слоев или пачек (рис. 19, II). Наиболее же предпочтителен уровень, на котором наблюдается эволюционная смена филогенетически родственных форм (рис. 19, III), поскольку в пределах одного бассейна она происходит практически одновременно, и определяемую этой сменой границу можно считать изохронной.

Кроме смены таксономического состава, при биостратиграфическом расчленении разрезов значение имеют и количественные характеристики таксонов (рис. 20).

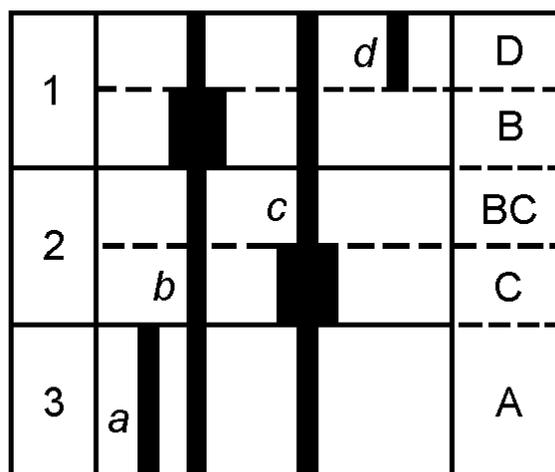


Рис. 20. Расчленение разреза с учетом количественных характеристик таксонов (Степанов, Месежников, 1979)

В разрезах могут наблюдаться колебания численности видов, часто имеющие упорядоченный характер: небольшое вначале количество экземпляров вида постепенно возрастает, достигает максимума и затем вновь сокращается до полного исчезновения. На более высоком таксономическом уровне отмечается подобная картина: количество видов нового рода поначалу невелико, затем оно увеличивается, а потом вновь сокращается.

Такое количественное распределение по разрезу свойственно организмам, которые весь цикл своего развития проходят в одном бассейне при неизменных условиях. Динамика численности будет другой в случаях миграции, смены условий существования, отражающихся в смене фаций, а также при неполной сохранности разрезов (рис. 21). Поэтому использование коли-

чественных характеристик таксонов для выделения широко прослеживаемых подразделений возможно лишь при предварительном изучении истории этих таксонов. Но для сопоставления близко расположенных разрезов изменение

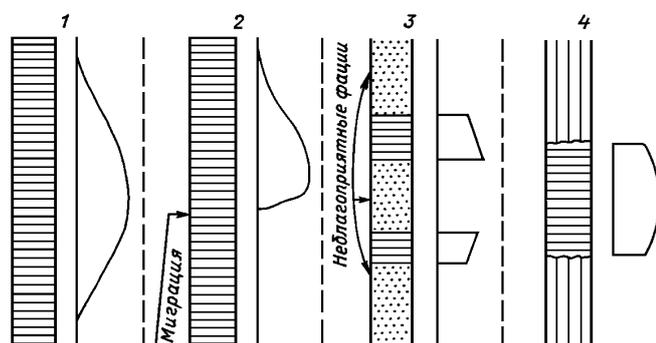


Рис. 21. Распределения численности видов в разрезе: 1 – идеальное, 2 – под влиянием миграции, 3 – в результате фациальных изменений, 4 – вследствие размыва (Степанов, Месежников, 1979)

численности видов дает очень хороший материал, позволяющий добиваться весьма высокой детальности. При этом возможно использование видов со значительно более широкими стратиграфическими диапазонами.

Комплексы ископаемых остатков, характерные для того или иного биостратиграфического подраз-

деления, представлены формами, по-разному распределяющимися в разрезе и имеющими различное стратиграфическое значение.

Среди них могут быть (рис. 22):

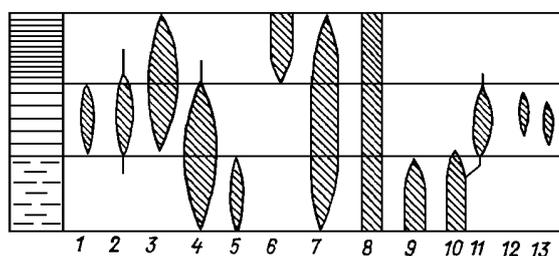


Рис. 22. Стратиграфическое распространение различных форм относительно стратиграфического подразделения (Степанов, Месежников, 1979)

1) формы, стратиграфическое распространение которых ограничивается возрастными пределами данного подразделения, т. е. формы, не выходящие за его нижнюю и верхнюю границы (1, 12, 13). Такие формы особенно важны. Среди них обычно выбираются руководящие для соответствующего стратиграфического подразделения формы или зональные роды или виды;

2) формы, встречающиеся преимущественно в данном стратиграфическом подразделении, а также редко в ниже- и вышележащих отложениях (2). Иными словами, формы, достигающие максимального расцвета в пределах стратона. Такие формы могут служить лишь указанием на возможность (вероятность) принадлежности отложений к тому или иному стратиграфическому подразделению;

3) формы, встречающиеся в нижележащих отложениях и исчезающие около верхней границы данного стратиграфического подразделения, а также формы, которые появляются около его нижней границы и переходят в вышележащие отложения (3, 4). Сочетание таких форм имеет большое зна-

чение в биостратиграфии, поскольку оно позволяет установить полный объем соответствующего подразделения;

4) транзитные формы, одинаково часто встречающиеся как в самом стратиграфическом подразделении, так и в подстилающих и перекрывающих отложениях (7, 8). Эти формы не имеют стратиграфического значения и могут быть использованы лишь для общей характеристики соответствующего стратиграфического подразделения;

5) родственные формы с частично перекрывающимися или последовательными интервалами распространения, эволюционно сменяющие друг друга (10, 11).

В практике биостратиграфических исследований при расчленении отложений встречаются и используются все эти случаи. По различным сочетаниям этих форм могут устанавливаться биостратоны с различными границами. Предпочтительными из этих границ являются эволюционные, а также обоснованные большим числом таксонов или совпадающие с литологическими разделами.

4.6.10. Биостратиграфическая корреляция

Вторая стратиграфическая операция – это сопоставление разрезов путем прослеживания в них определенных биостратиграфических подразделений. Они позволяют отвлечься от литологических особенностей пород и проводить сопоставление литологически несходных слоев, пачек или свит. Основанием для сопоставления служит относительная одновременность образования слоев, а не тождество их вещественного состава. То есть биостратиграфическая корреляция – это прослеживание одновозрастных биостратиграфических подразделений на определенной территории. Скоррелированными разрезами в этом случае следует считать такие, в которых установлены одни и те же биостратиграфические подразделения с изохронными границами.

Однако в практической работе в пределах одного района сопоставление разрезов проводится на основании непрерывности геологических тел, границы которых могут «скользить» по времени. Поэтому в данном случае под корреляцией разрезов подразумевается установление в серии изучаемых разрезов одних и тех же биостратиграфических подразделений или литологических пачек, часто вне зависимости от степени изохронности их границ.

Точность биостратиграфических корреляций, т. е. степень одновозрастности подразделений, устанавливаемых в изучаемых разрезах, всегда относительна. Она зависит от целей, масштаба и детальности исследований. В зависимости от масштабов и детальности работ меняются требования к биостратиграфическим подразделениям и методы их прослеживания. Например, при составлении обзорных геологических карт достаточно знать, что в одном разрезе найден аммонит рода *Porpoceras*, а в другом –

Leioceras. Эти сведения позволят отнести вмещающие слои к юрской системе и скоррелировать оба разреза с точностью, необходимой для карт масштаба 1 :7500000 и более мелких. Но при работе с картами более крупного масштаба потребуется более высокая точность корреляции, поскольку здесь предусматривается выделение отделов, и сопоставление нижнеюрских отложений со среднеюрскими неверно. Геологические карты среднего масштаба требуют корреляция на уровне ярусов и подъярусов, а крупномасштабные основываются на зональной корреляции.

Для корреляции отложений применяется ряд методов: метод руководящих форм, метод фаунистических комплексов, эволюционный и экологический методы.

Метод руководящих форм. Самым первым методом биостратиграфической корреляции стал метод *руководящих форм*, впервые примененный В. Смитом при подготовке геологической карты Англии. *Корреляция отложений проводится по находкам определенных (руководящих) форм ископаемых, которые приурочены к одновозрастным слоям. Руководящие формы должны иметь относительно узкие стратиграфические диапазоны, очень широкие ареалы, должны встречаться в слоях, разнообразных по своему вещественному составу, т. е. мало зависеть от фаций. Наконец, должны часто встречаться и обладать характерными морфологическими признаками, которые обеспечивают быстрое и однозначное их определение.* Применение метода руководящих форм способствовало установлению большинства используемых доныне систем, отделов, а позже – и ярусов в значительном удалении от стратотипических разрезов.

На самом деле любой вымерший таксон имеет определенный стратиграфический интервал распространения и может поэтому рассматриваться как руководящий. Но многие древние формы существовали на протяжении целых эпох, периодов и даже эр, и корреляция дробных стратиграфических подразделений по ним просто невозможна. Поэтому в качестве руководящих выступают лишь представители быстро эволюционирующих групп. С другой стороны, большое количество быстро изменяющихся во времени организмов имеет весьма узкие ареалы, что не позволяет сопоставлять между собой удаленные разрезы.

Поскольку на Земле осадконакопление происходит одновременно при различных условиях среды, отражающихся в смене фаций, сопоставление этих разнофациальных отложений возможно лишь на основании независимых от фаций органических остатков. В наибольшей степени этому условию удовлетворяют пелагические организмы. Хотя, строго говоря, как приуроченность каких-либо форм к слоям определенного состава, так и повсеместная встречаемость в природе не наблюдаются. Поэтому бентосные формы тоже использовались как руководящие, хотя и в меньшей мере по сравнению с пелагическими.

Частота встречаемости руководящих форм является немаловажным условием. Как можно сопоставлять разрезы по организмам, которые в них отсутствуют или обнаружение которых связано с неоправданно большими затратами труда из-за их редкости? Очевидно, что вероятность находок руководящих форм в изучаемых разрезах должна быть высокой.

Ну и наконец руководящие формы должны быть легко узнаваемыми. Их определение не должно вызывать расхождений между специалистами. Ведь если одна и та же форма в разных разрезах названа по-разному, то по ней эти разрезы уже не сопоставимы.

Несмотря на такие жесткие требования к руководящим формам, почти в каждой системе фанерозоя известно достаточно много видов и родов организмов, удовлетворяющих этим требованиям. Тем не менее, стратиграфам в своей работе приходится сталкиваться с очень распространенным явлением, ограничивающим применение метода. Суть явления заключается в том, что даже представители ортогрупп в разных районах имеют различные интервалы стратиграфического распространения, и обусловлено это геологическими причинами. Прежде всего нужно отметить различную полноту разрезов. Часто характерные для части какой-либо пачки виды в сокращенных разрезах распространены по всему разрезу этой пачки. Или наоборот, формы, типичные для пограничных слоев двух смежных стратиграфических подразделений, в менее полных разрезах приурочены только к одному из этих подразделений из-за размыва кровли подстилающего или подошвы перекрывающего стратона. Еще один существенный фактор – переотложение ископаемых, которое, будучи незамеченным, приводит к увеличению стратиграфического интервала существования вида.

На применение метода руководящих форм влияет также степень сохранности фауны: плохая сохранность не позволяет проводить корреляцию из-за невозможности её точного определения.

Несовпадение стратиграфических диапазонов руководящих форм может быть обусловлено особенностями их развития и расселения. Например представители одного рода, параллельно развивавшиеся в относительно обособленных бассейнах и каждый в своем районе, имеющие статус руководящих, различаются интервалами существования. Это связано с неодновременностью изменения физико-географических условий существования в этих бассейнах. При наступлении неблагоприятных условий вид исчезает. Изменение стратиграфического диапазона также может быть обусловлено постепенным расширением, сокращением ареала или его перемещением: в этом случае наблюдается скольжение границ существования вида в направлении его миграции.

Последний существенный недостаток руководящих форм – это приуроченность их к определенным палеобиогеографическим провинциям и

областям. Виды, распространенные во всех морских бассейнах или на всех континентах, исключительно редки. Поэтому руководящие формы могут использоваться лишь в пределах ограниченной территории.

Из вышесказанного следует заключить, что к руководящим ископаемым необходим очень осторожный и критический подход. В настоящее время их роль при корреляции разрезов представляется уже не столь значительной, чем несколько десятилетий назад. Современные стратиграфические корреляции основываются на прослеживании не отдельных руководящих форм, а определенных группировок ископаемых организмов, т. е. на *анализе фаунистических или флористических комплексов*.

Метод фаунистических комплексов имеет ряд преимуществ, хотя и является более трудоемким по сравнению с методом руководящих форм.

1. Поскольку анализируются более или менее обширные группы организмов, коррелироваться могут и те разрезы, в которых руководящие формы не обнаружены. Таким образом, существенно возрастает число сопоставляемых разрезов.

2. Значительно увеличивается число таксонов, которые могут привлекаться для корреляции разрезов, причем стратиграфическую ценность имеют даже относительно медленно изменяющиеся формы.

3. Памятуя о возможности «скольжения» стратиграфических границ распространения вида, в ряде случаев нельзя быть уверенным в правильном отнесении пачки, заключающей руководящие формы, к определенному стратону (рис. 23). Вероятность ошибки уменьшается вдвое, если стратон прослеживается по двум видам. Если в рассмотрение вводится большее количество видов, эта вероятность соответственно также еще более сократится. Комплекс видов, таким образом, позволяет надежно прослеживать биостратиграфические подразделения.

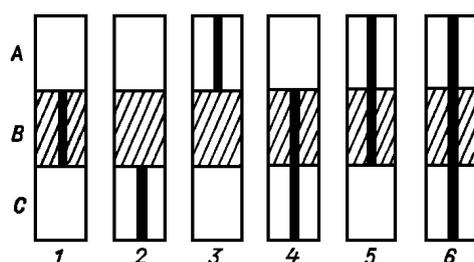


Рис. 23. Возможные положения руководящей фауны относительно слоя В (Степанов, Месежников, 1979)

В настоящее время метод комплексов является основным при биостратиграфических сопоставлениях и имеет свою специфику. Понятие «комплекс», несмотря на уже долгое его употребление, не имеет единого

толкования. Согласно одной точке зрения комплексы устанавливаются раздельно по каждой фаунистической группе: аммоноидей, белемнитов, двустворок, фораминифер, радиолярий, остракод – для мезозоя; аммоноидей, фузулинид, брахиопод, остракод – для верхнего палеозоя и т. п. Это обусловлено тем, что объемы биостратиграфических подразделений, установленных по отдельным группам, отличаются настолько, что не существует ни одной биостратиграфической границы, которую можно было бы проследить по всем группам (рис. 24). Следовательно, для корреляции разрезов следует выбрать одну из существовавших в данном бассейне в пределах выбранного стратиграфического интервала групп, характеризующуюся общей историей существования и сравнимыми темпами эволюции.

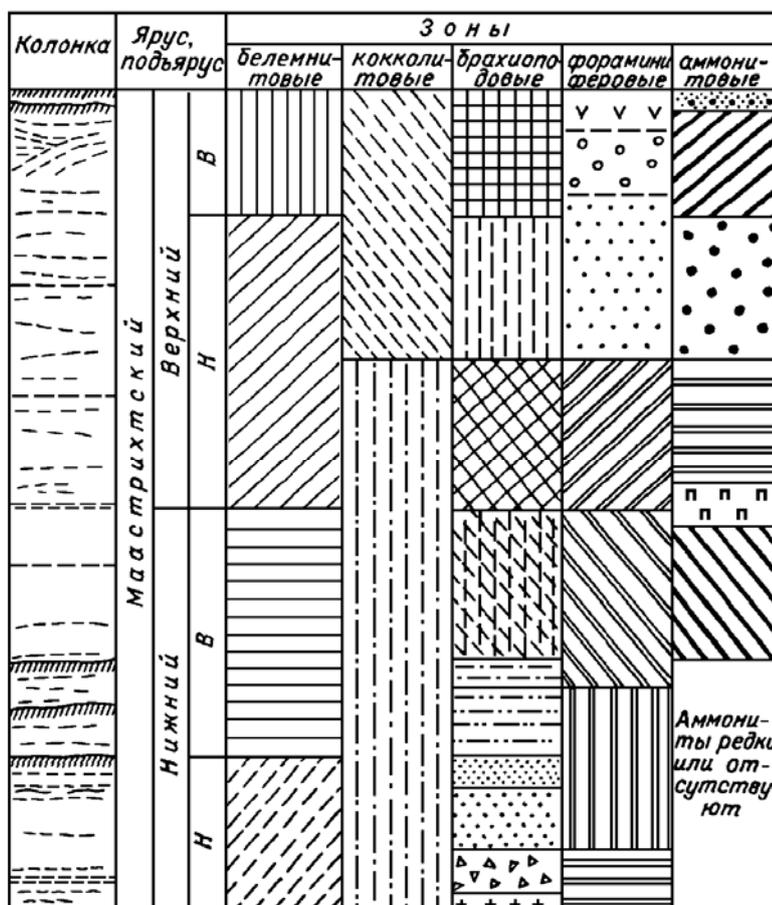


Рис. 24. Смена комплексов различных групп фауны в разрезе

Согласно другому мнению, в состав комплексов следует включать представителей различных классов и даже типов древних организмов. Основанием для этого явилось представление о естественности стратиграфических границ, которые должны отражать одновременные во времени изменения среды и биоты. Однако такой прямолинейной связи на самом деле не существует, все значительно сложнее. Вместе с тем, в некоторых случаях сопоставление может производиться и на основе включающих разные группы комплексов. Самым ярким примером этого являются фитостратиграфи-

ческие исследования, основывающиеся на анализе всего систематического состава растительности. Правда, такие сопоставления проводятся с детальностью до отдела или части отдела. При корреляции морских толщ такая детальность явно недостаточна.

Наиболее сложно установить стратиграфический объем комплекса, т. е. определить его границы в разрезе. Это можно сделать двумя способами.

1. При наличии в составе комплекса форм с узким стратиграфическим интервалом существования выбирается один или несколько видов-индексов, а с ними сопоставляется распределение остальных форм.

2. Если узкораспространенные формы отсутствуют, под комплексом понимается определенная группировка совместно сосуществующих видов с широкими стратиграфическими диапазонами.

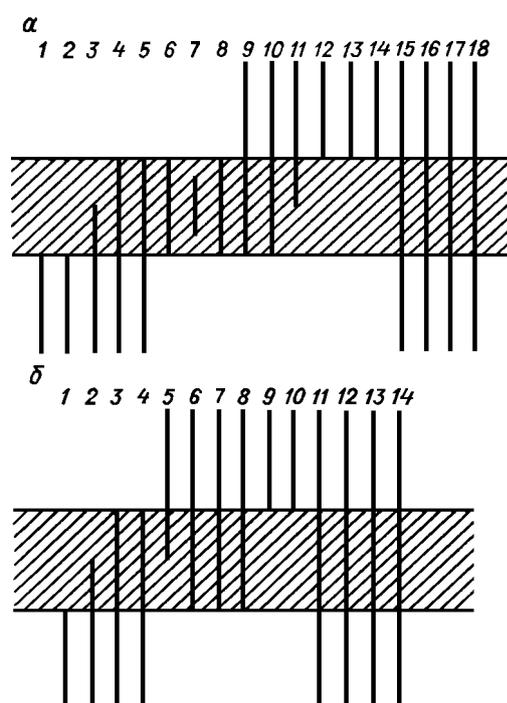


Рис. 25. Примеры выделения границ биостратиграфических подразделений путем анализа распространения отдельных видов комплекса (Степанов, Месежников, 1979)

Выделение каждого комплекса должно сопровождаться его диагнозом. В нём указываются: а) совместно существующие виды; б) существующие только в рассматриваемом комплексе виды; в) исчезающие и появляющиеся на нижней границе комплекса виды; г) исчезающие и появляющиеся на верхней границе комплекса виды (рис. 25а). Для комплекса, выделенного вторым способом, в диагнозе будет отсутствовать пункт б (рис. 25б).

Комплекс устанавливается в каком-то одном разрезе, являющемся справочным. Но детали его состава уточняются по целой серии разрезов. Обычно состав комплекса претерпевает по латерали некоторые изменения, но из-за значительного количества форм в его составе возможно его прослеживание на значительные расстояния. Выпадение некоторых характерных форм не является препятствием для прослеживания комплекса, если основные его черты могут быть установлены в каком-либо разрезе.

При сопоставлениях на большие расстояния особое значение имеют викарирующие (замещающие) виды. Викариат – очень распространенное явление, в том числе в современной фауне. Например, восточноевропейская краснобрюхая жерлянка в Западной Европе замещается желтобрюхой жерлянкой, а в Приморье – дальневосточной; европейскому зубру соответствует в Северной Америке бизон (Лопатин, 1989, Günther, 1985) и т. п. Распространен викариат и в древних фаунах. Причем прослеживается фаунистиче-

ский комплекс тем дальше, чем меньше он привязан к фациям. Сопоставление систематически несходных комплексов, занимающих в разрезе сходное положение, осуществляется через привязку к комплексам других фаунистических групп, общих для сопоставляемых разрезов.

Таким образом, на практике часто возникает необходимость тесной увязки стратиграфических шкал, составленных по разным группам. Несмотря на большее совершенство метода комплексов, при его применении также могут возникнуть сложности, обусловленные различными геологическими причинами.

Предположим, что в определенной серии разрезов верхнего мела установлена белемнитовая зона *A*. Средней части этой зоны соответствуют слои с комплексом брахиопод *B* (рис. 26а). В другой серии разрезов в зоне *A* установлен комплекс брахиопод *C*, причем он несколько смещен в нижнюю часть колонки. Несмотря на то что комплексы *B* и *C* установлены внутри единого стратиграфического подразделения (зоны *A*), их корреляция не может считаться бесспорной, поскольку неясно, является ли комплекс *C* более древним по сравнению с комплексом *B* или же его смещение вниз по разрезу обусловлено размывом нижней части зоны *A*.

Часто биостратиграфу приходится сопоставлять отрывочные данные. В разрезе *I* установлен комплекс фораминифер *a*. В верхней части разреза обнаружен прослой ракушняка с комплексом аммонитов, указывающих на

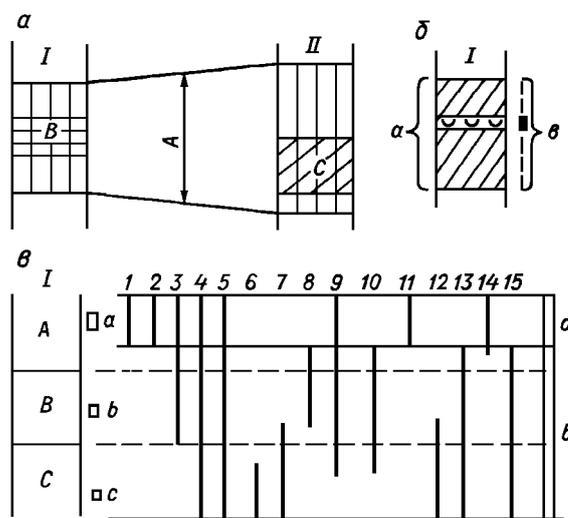


Рис. 26. Примеры осложнений при биостратиграфической корреляции (Степанов, Месежников, 1979)

зону *B* (рис. 26б). При отсутствии других данных биостратиграф вынужден слои с комплексом *a* относить к зоне *B*. Однако не исключено, что при дальнейших исследованиях будут открыты новые уровни с аммонитами и комплекс *a* окажется соответствующим двум или трем аммонитовым зонам. В этом случае отнесение слоев с комплексом *a* к зоне *B* является условным. Эта условность должна быть оговорена при всех дальнейших выводах.

Возможны и обратные соотношения: на основании анализа единичных образцов в разрезе установлены три комплекса фораминифер, соответствующие трем аммонитовым зонам (рис. 26в). Действительно, комплекс *a* охарактеризован видами 1, 2, 11, 14; комплекс *b* – видами 9 и 10; комплекс *c* – видами 6, 7 и 12. Более полный отбор образцов показывает, что стратиграфические диапазоны ряда видов являются зна-

чительно более широкими и в разрезе следует выделять не три, а два комплекса, причем их граница не совпадает с границей зон *A* и *B*.

Рассмотренные случаи показали прослеживание комплексов только на основании стратиграфических диапазонов видов. Однако возможна корреляция комплексов и по количественной оценке их характерных видов. Но подобный способ может применяться только на небольших расстояниях, поскольку вряд ли возможно одновременное изменение численности особей на обширных территориях, особенно относящихся к разным бассейнам.

Помимо корреляции отложений метод комплексов может применяться для анализа полноты разрезов. Степень преемственности в систематическом составе комплексов является хорошим индикатором размывов и перерывов. На рис. 27 схематически показано изменение по разрезу состава эоценовых комплексов радиолярий Атлантического океана.

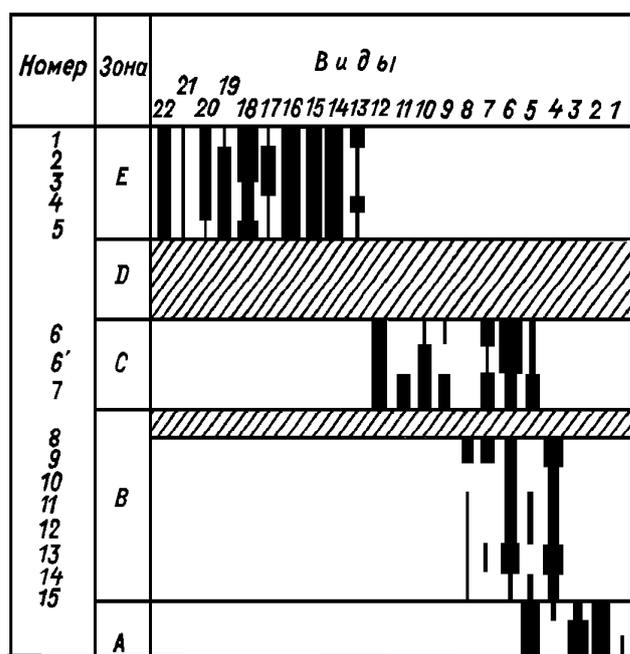


Рис. 27. Анализ полноты разрезов методом комплексов (Степанов, Месежников, 1979)

Высокая преемственность состава зональных комплексов *A* и *B* позволяет говорить о непрерывном разрезе. Анализ подобных соотношений на границе зон *B* и *C* указывает на наличие размыва, и, наконец, полное несовпадение состава зональных комплексов *C* и *E* заставляет предполагать наличие перерыва; это, действительно, подтверждается сравнением со стандартной колонкой: из разреза выпадает зона *D*.

Эволюционный метод основан не на присутствии одинаковых форм в сравниваемых фаунах, а на уровне их эволюционного развития.

Для этого устанавливаются закономерности филогенетического развития какой-либо группы и определяется время появления определенных морфологических признаков, а следовательно, сами признаки приобретают био-стратиграфическое значение. Этот метод применяется для предварительной корреляции разрезов, при сопоставлении не тождественных, а только похожих по составу фаун удаленных регионов.

В качестве примера можно привести соответствие крупных этапов развития амmonoидей определенным эратемам и системам: гониатитов – палеозою, цератитов – триасу, аммонитов – юре и мелу. В этом случае формы лопастных

линий могут быть использованы для установления возраста отложений. Морфологические признаки у хорошо изученных организмов могут служить для установления и более коротких временных интервалов.

Проводить сопоставление частных разрезов возможно и на основании степени выраженности каких-либо признаков. Например, установлено, что в процессе развития определенной группы брахиопод ширина раковины постепенно уменьшалась, а количество складок сокращалось. Теперь, если в каком-либо разрезе установлены перерывы в этой цепи изменений, то находки в других разрезах брахиопод с признаками, вписывающимися в отмеченные перерывы, позволяют сопоставить вмещающие слои с соответствующими «немymi» интервалами исходного разреза. Вероятность такого сопоставления тем больше, чем ближе друг к другу расположены эти разрезы (рис. 28).

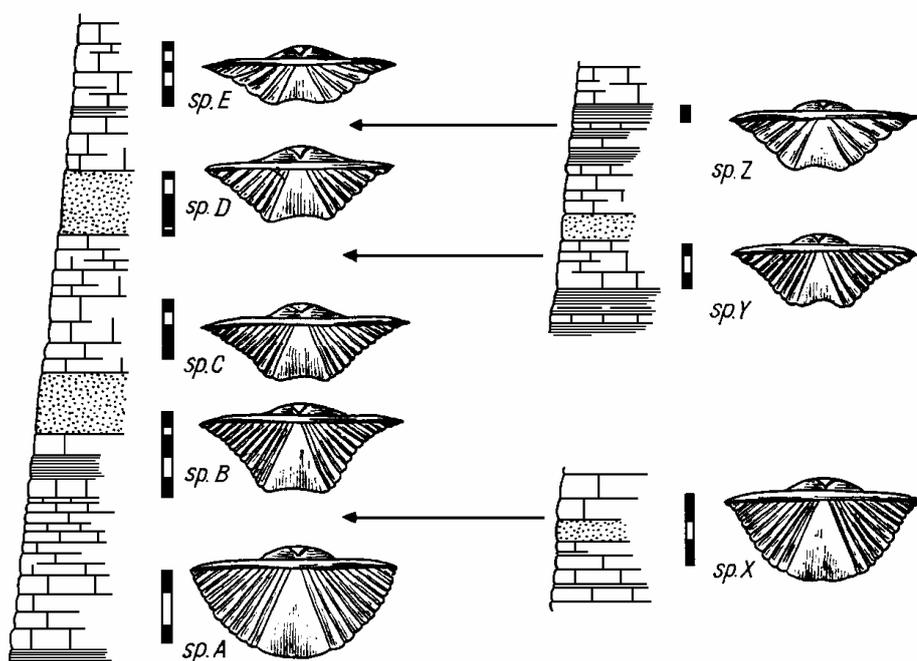


Рис. 28. Сопоставление разрезов с помощью эволюционного метода (Степанов, Месежников, 1979)

Наиболее часто эволюционный метод используется при анализе находок позвоночных. Они представлены, как правило, единичными экземплярами, что ограничивает или вовсе исключает возможность корреляции по видовому составу комплексов. В то же время остатки позвоночных могут быть основным критерием для корреляции континентальных толщ. Подобный случай представляют пермские и триасовые красноцветные отложения на востоке Русской платформы. Большая «продвинутость» лабиринтодонта из одного местонахождения по сравнению с лабиринтодонтом из другого свидетельствует о его более молодом возрасте.

Использование эволюционного метода в стратиграфии ограничено двумя обстоятельствами.

Во-первых, направленные эволюционные процессы редко имеют строго линейный характер. Даже при наличии определенной тенденции в изменении каких-либо признаков наблюдаются неоднократные возвращения к исходному варианту. Кроме того, почти в каждой фаунистической группе можно установить время совместного существования предков и потомков. В частности, цератиты появляются уже в пермском периоде, аммониты – в триасовом, а в мелу в составе аммонитов – представители с цератитовой лопастной линией (Михайлова, Бондаренко, 1997).

Во-вторых, использование эволюционного метода в стратиграфии требует детальных филогенетических построений и отделения случаев конвергентного развития.

Особенности использования микропалеонтологических объектов для биостратиграфической корреляции. Широкое использование для целей биостратиграфии микропалеонтологических объектов (фораминифер, радиолярий, остракод, кокколитофорид, тинтинид, спор и пыльцы и т. д.) началось около 100 лет назад. С их помощью была проведена корреляция осадочных толщ многих регионов земного шара, особенно закрытых территорий. В их числе – нефтегазоносные бассейны Америки, Ближнего Востока, Волго-Уральской области, Западной Сибири и т. д., а также осадочный чехол океанов.

Быстрое и плодотворное внедрение микропалеонтологии в стратиграфию объясняется несколькими достоинствами микроорганизмов. Прежде всего это мелкие размеры объектов исследования, что способствует их обнаружению практически по всему разрезу и особенно важно для ядерного материала. Из небольших образцов ядер могут быть получены целые скелеты мелких организмов в весьма большом количестве (Жижченко, 1968). Раковины крупных организмов встречаются в ядре редко и имеют обычно плохую сохранность, что затрудняет их определение. Второе достоинство связано с особенностями их захоронения. Во многих случаях они непрерывно распределены по всему разрезу, и поэтому устанавливаемые по ним биостратиграфические границы обоснованы самим палеонтологическим материалом. Дискретное распределение в разрезе крупномерных остатков фауны и флоры зачастую вынуждает привязывать биостратиграфические границы к литологическим разделам. Третье достоинство – легкость опробования. Геологу достаточно лишь отколоть кусок породы и отправить палеонтологу, не задаваясь вопросом, есть там что-нибудь или нет.

Широкое распространение в биостратиграфии получило сопоставление разрезов по комплексам микрофауны, особенно фораминифер. Они устанавливаются как на основе стратиграфических диапазонов отдельных видов, так и по изменениям количества экземпляров этих видов по разрезу. В состав комплекса входят обычно десятки и даже сотни видов. Для биостратиграфических корреляций из них используется 10–20 форм, наиболее

часто встречающихся и имеющих наиболее узкий стратиграфический диапазон. Но в общей характеристике комплекса указывается и степень его разнообразия на уровне семейств, и степень видового разнообразия для отдельных семейств. Иногда существенные колебания количества видов какого-нибудь семейства или подсемейства могут явиться указанием на изменение стратиграфического положения комплекса.

Споры и пыльца растений впервые были использованы для анализа четвертичных осадков. Неоднократная смена похолоданий и потеплений, происходившая в четвертичном периоде, обусловила неоднократную же смену растительных сообществ, которая достаточно четко фиксировалась в изменении количественных соотношений различных группировок, составляющих спорово-пыльцевые спектры. При переходе к анализу более древних толщ палинологи вынуждены были разработать свою систематику и сразу стали оперировать при биостратиграфическом анализе видовыми и родовыми искусственными таксонами.

Поэтому для целей стратиграфии более перспективен переход к выявлению видовых таксонов, изучению их распространения в разрезах и обычной биостратиграфической интерпретации спорово-пыльцевых комплексов.

Количественные методы корреляции. Д. Л. Степанов и М. С. Месяжников (1979) придают определенное значение количественным методам корреляции в связи с их объективностью. Впервые подобный подход к анализу фауны применил Ч. Лайель. Производя в 1833 г. расчленение третичных отложений, он основывался на изменении процентного содержания в них современных форм моллюсков. Ч. Лайель отнес к эоцену слои, содержавшие 3 % ныне живущих видов, к миоцену – слои, охарактеризованные 17 %, и к плиоцену – 50–67 % современных форм.

В прошлом столетии получил некоторое распространение так называемый процентно-статистический метод, суть которого сводится к подсчету в каком-либо комплексе процента форм, занимающих разное стратиграфическое положение и встреченных в разных районах.

Более плодотворным оказалось сравнение комплексов на основании коэффициента сходства Симпсона, коэффициента общности Лонга и ряда аналогичных индексов. В целом, однако, вычисления различных коэффициентов имеют значение скорее для палеобиогеографического, а не биостратиграфического анализа.

Экостратиграфия. Биостратономия. В связи с общим интересом к экологии термин «экостратиграфия» быстро вошел в употребление, но до сих пор единое понимание этого термина отсутствует.

Большинство палеонтологов понимают под экостратиграфией палеоэкологические наблюдения и палеоэкологический анализ при биостратиграфических исследованиях.

Другая группа палеонтологов понимает под экостратиграфией выделение фациально зависимых стратонов, имеющих заведомо неоднородные границы.

Третья группа видит в анализе палеоэкосистем альтернативу современной стратиграфии. По их мнению, экостратиграфия дает возможность установления причинной связи геологических явлений и, таким образом, обеспечивает создание естественной стратиграфической классификации. Так, С. В. Мейен отмечает: «Палеоэкосистемный подход снимает старую проблему совпадения–несовпадения этапов развития разных групп организмов и абиотической среды. Сами этапы выделяются для палеоэкосистемы, а не для отдельных филогенетических ветвей. Это дает несравненно более объективные основания для выделения стратиграфических подразделений и оценки их ранга» (Мейен, 1974, с. 129).

Разработке идеи экостратиграфии много внимания уделил В. А. Красилов. Он отмечает, что «1) геологическое время – это запечатленная геологической летописью смена состояний земной коры и биосферы; 2) смена состояний земной коры и биосферы может служить основой общей стратиграфической классификации; 3) моменты геологического времени имеют продолжительность и отвечают последовательным этапам стабилизации биосферы, нарушаемым событиями планетарного масштаба; 4) одновременность событий определяется не приуроченностью к моментам абсолютного времени, а признаками их сосуществования, их взаимодействием. Поскольку изучение следов взаимодействия входит в компетенцию палеоэкологии, стратиграфическая корреляция превращается преимущественно в экологическую задачу. Это оправдывает термин "экостратиграфия"» (Красилов, 1977, с. 32–33).

В такой интерпретации экостратиграфия представляет собой новую стратиграфическую концепцию, в которой события измеряются самими событиями. Однако такой подход может приводить к субъективным оценкам ситуации и кажется методологически неверным. В связи с этим не ясны преимущества экостратиграфии по сравнению с общепринятой стратиграфической концепцией. Ведь наиболее весомое достоинство в ней – наличие внешней системы отсчета, обеспечивающей регистрацию геологических событий. В то же время изучение палеоэкосистем обогащает науку новыми фактами, которые могут повлиять на развитие наших общестратиграфических представлений.

А пока экостратиграфия находит практическое выражение в палеоэкологическом методе стратиграфических исследований, который был предложен Р. Ф. Геккером при изучении верхнедевонских, а затем нижнекаменноугольных отложений.

Прежде мы уже указывали на основное осложнение при биостратиграфических корреляциях – зависимость большинства фаунистических ком-

плексов от фаций. Эта зависимость обусловлена образом жизни организмов, реконструкцией которого занимается палеоэкология. В её задачи входит восстановление физико-географических (глубина, температура, солёность и т. п.) и биотических (структура биоценозов, трофические связи, конкуренция) условий существования древних организмов. Эти задачи решаются путем комплексного использования данных литологических, геохимических и палеонтологических (в том числе тафономических) исследований. Палеоэкологические наблюдения способствуют обнаружению индивидуальных особенностей отдельных слоев, что позволяет проводить послойную корреляцию близко расположенных разрезов.

Сводный разрез нижнекаменноугольных отложений на р. Мсте в Новгородской области включает восемь слоев известняка с фауной, видовой состав которой почти одинаков на протяжении всего разреза. По одному обнажению сводный разрез составить нельзя, а при сопоставлении отдельных слоев по многим обнажениям допускались ошибки. Правильно составить сводный разрез удалось только при использовании палеоэкологических (приуроченность к определенным частям слоя и количественные соотношения видов, различные следы животных и их приуроченность к разным уровням слоя, прижизненная ориентировка раковин, корней растений и т. д.) и биостратомических (сохранность раковин, характер распределения в слое, ориентировка и т. д.) признаков, выдерживающихся на небольшом расстоянии, порядка нескольких километров.

Для биостратиграфии значение имеет не только смена во времени видового состава органики, но и смена фаунистического комплекса одного экологического облика комплексом другого, если эта смена охватывала значительные площади. Например, комплекс фауны, захоронившейся в лагунных условиях, сильно обеднен в систематическом смысле по сравнению с перекрывающим и подстилающим морскими комплексами, и это может быть основанием для выделения на его основе отдельного (местного или регионального) стратиграфического подразделения.

Следует заметить, что стратиграфические выводы на основе палеоэкологического метода справедливы лишь в определенной фациальной зоне, за пределами которой установленные соотношения могут быть иными. Поэтому метод применим на ограниченных территориях: при крупномасштабных геологических съемках и сопоставлениях разведочных скважин на отдельных структурах.

4.6.11. Биостратиграфическое датирование

Под биостратиграфическим датированием осадочных образований понимается определение возраста слоев в любом регионе в геохронологических единицах общей шкалы и выделение здесь стратиграфических подразделений этой шкалы. В плане практических действий под датировкой понимается со-

поставление любого частного разреза со стандартной колонкой общей стратиграфической шкалы. То есть, датировка – это специфическая разновидность корреляции, при которой прослеживаются заранее установленные уровни, являющиеся границами стратиграфических подразделений общей шкалы.

Как указано в определении, датировка включает две операции. Первая заключается в обнаружении в изученном разрезе отложений какого-либо подразделения общей шкалы. Такая информация особенно важна на первых этапах изучения региона. Но позже обыкновенной фиксации присутствия определенной системы, отдела, яруса или зоны становится недостаточно, возникает потребность определения их границ в конкретных разрезах, расположенных на значительном удалении от стратотипических районов. Таким образом, следует различать *установление* и *выделение* каких-либо подразделений общей шкалы в частных разрезах.

Так как объемы и границы подразделений общей шкалы объективно определяются только их палеонтологической характеристикой (Соколов, 1971), датировка осадочных толщ осуществима лишь биостратиграфическими методами. В стратотипических районах биостратиграфические границы устанавливаются по какой-либо определенной группе фауны. По этой же группе должна производиться датировка осадочных толщ и в других регионах, ведь границы, устанавливаемые по разным группам, не совпадают. Однако реализация этого положения часто оказывается невыполнимой. Прежде всего, существуют противоречия в самой структуре общей шкалы. Например, ярусные подразделения ордовика и силура были установлены по смене брахиопод, а зональные подразделения разработаны по граптолитам на других разрезах; стратотипические разрезы перми включают неморские отложения и т. п. Также весьма существенно, что комплексы ортофаун из стратотипических районов изменяются по простиранию, создавая затруднения при датировках. Преодолеть их можно с большим или меньшим приближением с помощью промежуточных разрезов, заключающих другие группы фауны. Из этого следует, что датировка осадочных толщ, обычно, осуществляется приближенно.

На рис. 29а показано выделение подъярусов B_1 и B_2 в удаленном от стратотипического районе. Зональное деление этих подъярусов осуществлено по смене комплексов богатой ортофауны. В удаленном разрезе I встречены лишь единичные формы, характерные для подъярусов B_1 , B_2 и подстилающих и перекрывающих отложений. Если каждая из этих находок происходит из литологически разнородных пачек, то наиболее очевидное решение – совместить биостратиграфические границы с литологическими, получив более или менее приближенные датировки.

На рис. 29б показана принципиальная схема датировок с помощью парафаун. Границы яруса B в типовых разрезах проводятся соответственно между зонами a_1/b_6 и b_1/c_4 .

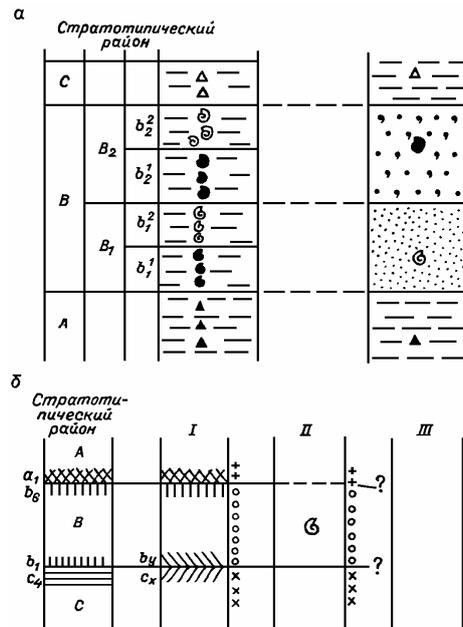


Рис. 29. Примеры датировок отложений в удаленных районах (Степанов, Месежников, 1979)

В регионе I верхняя граница яруса B также устанавливается между зонами a_1/b_6 , но нижняя часть яруса B и верхи яруса C охарактеризованы другой фауной. Однако с помощью промежуточных разрезов выяснено, что зона c_x одновозрастна зоне c_4 , а зона b_γ – зоне b_1 . Поэтому в регионе I ярус B выделяется достаточно строго. В регионе II найдены лишь единичные формы ортофауны яруса B. Однако в разрезе отмечается последовательная смена трех местных биостратиграфических подразделений, к среднему из которых приурочены эти находки. Со значительной долей условности ярус B может быть выделен и в этом регионе. В регионе III установлен только ряд комплексов парафауны. Выделение здесь яруса B будет необоснованным, особенно если эти комплексы существенно отличаются, например, от комплексов региона II.

Установление подразделений общей шкалы в любом регионе не может производиться с помощью одних только парагрупп. Ярусы и более дробные подразделения могут устанавливаться лишь с учетом ортостратиграфических фаун. Иначе обстоит дело с местными подразделениями. Выделение же в конкретных разрезах этих подразделений с четкой фиксацией границ может производиться по парагруппам, но в этом случае необходимо прямое или опосредованное привлечение данных по ортогруппам.

Таким образом, биостратиграфическая датировка осадочных толщ основана на совместном использовании орто- и парастратиграфических групп. Задача биостратиграфа состоит в разумном сочетании данных по этим группам и критической оценке точности полученных выводов.

4.6.12. Случаи, осложняющие применение палеонтологического метода в стратиграфии

Можно указать на две категории причин, вызывающих трудности в использовании палеонтологического метода: 1) отсутствие или недостаточность палеонтологических данных и 2) необычный или аномальный состав комплексов ископаемых организмов. Первая обусловлена бедностью рассматриваемых отложений окаменелостями или плохой их сохранностью и во многих случаях может быть преодолена за счет тщательности поисков, применения новых методов распознавания и извлечения ископаемых остатков из породы, обучения поискам и опыту. Можно привести много примеров, когда считавшиеся «немыми» толщи оказывались насыщенными ископаемыми. Первоначально палеонтологи изучали сравнительно крупноразмерные фоссилии и искали их исключительно визуально. После открытия способов поисков и извлечения из пород микроскопических объектов количество «немых» слоев заметно сократилось. Долгое время очень бедными в палеонтологическом смысле считались пермо-триасовые континентальные красноцветы, но когда научились искать в них кости позвоночных, они оказались далеко не бедными. Появление методики снятия железоокисной «рубашки» с пыльцевых зерен позволило находить их в неогеновых красноцветах, также считавшихся ранее бедными.

Вторая главная категория случаев может быть разделена на две группы.

Первая группа включает осложняющие факторы первичного характера, возникшие еще в процессе формирования соответствующей биоты. Прежде всего, это случаи, связанные с особенностями эволюции отдельных филумов, таких как параллелизм, конвергенция, замедленные темпы эволюции и др. Первичной причиной возникновения аномальных черт комплексов могут быть также особенности расселения и миграции, приводящие к явлениям эндемизма, возникновению реликтовых или суперститовых форм, рекурренции и т. п.

Вторая группа фаунистических и флористических комплексов аномального состава связана с переносом остатков организмов до и во время их захоронения (синхронный перенос), а также переотложением окаменелостей, вымытых из более древних отложений (асинхронный перенос). В результате этих процессов образуются аллохтонные ориктоценозы, которые могут сильно отличаться от исходных биоценозов.

Синхронный перенос органических остатков может осуществляться следующими способами: а) перемещение вдоль берега под воздействием волноприбойного движения воды; б) перенос морскими течениями, реками, ветрами и различными животными; в) смещение по склону в результате оползней и мутьевых потоков; г) рассеивание посредством ледового разноса; д) погружение остатков организмов на дно водоемов. Во всех случаях возможно формирование аллохтонных ориктоценозов или смешанного типа, состоящих из аллохтонных и автохтонных элементов. Синхронный пе-

ренос обычно не влияет на выводы о геологическом возрасте вмещающих отложений.

Захоронения организмов, сопровождающиеся переотложением окаменелостей, вынесенных из более древних отложений, представляют значительные трудности для стратиграфов, поскольку могут повлиять на заключение о геологическом возрасте. Поэтому переотложенные элементы должны выявляться и исключаться из рассмотрения. Асинхронный перенос может происходить в результате следующих процессов: а) эрозия суши и абразия берегов и дна; б) оползни и мутьевые потоки; в) ледники; г) миграция нефти; д) захват потоками лавы и вулканической грязи; е) перенос подземными и поверхностными водами; ж) перенос с глинистым раствором при бурении скважин.

Особыми вариантами формирования асинхронных комплексов являются «вмыв» ископаемых из более молодых отложений в подстилающие слои и процессы «конденсации разрезов».

Осложняющие факторы первичного характера

Осложняющие факторы эволюционного порядка. Многие затруднения связаны с возникновением морфологически похожих, как бы имитирующих друг друга «симулирующих» форм в различных и даже далеких филогенетических ветвях. Для уяснения сути этих процессов познакомимся с особенностями различных форм филогенеза.

В ходе эволюции происходит как постепенное изменение и превращение одного вида в другой (филетическая эволюция), так и разделение прежде единого вида на два или несколько (дивергенция).

Филетическая эволюция – обязательный процесс, осуществляющийся в ходе эволюции любого ствола или ветви древа жизни и приводящий к изменению исходного таксона. Это собственно неветвящиеся отростки эволюционного древа, а также многие отрезки стволов между развилками.

Дивергенция – другая основная форма эволюции таксона, при которой один предковый таксон дает начало двум или нескольким линиям организмов, по-разному приспособленных к различным условиям жизни. В этом случае родственные организмы независимо приобретают различные признаки, что приводит к расхождению ветвей древа жизни от единого ствола предков. При дивергенции сходство объясняется общностью происхождения, т. е. родством, а различия – приспособлением к различным условиям среды. Дивергенция осуществляется на основе эволюции гомологичных органов. Гомологичными называются образования, «которые у различных животных возникают из общих зачатков и сходны между собой по основному плану строения и по развитию» (Вилли, 1968, с. 235).

Вторичными формами эволюции являются конвергенция и параллелизм (Яблоков, Юсуфов, 1981).

Конвергенция – это процесс, при котором две или несколько неродственных групп адаптируются к сходным условиям среды, и у них вырабатываются черты, обладающие, по крайней мере, поверхностным сходством.

Конвергенция осуществляется на основе эволюции аналогичных (а не гомологичных, как при дивергенции) органов. «Аналогичные образования сходны лишь по своей функции» (Вилли, 1968, с. 235). При конвергенции сходство вызывается приспособлением к схожей среде, а различия – различным происхождением, т. е. отсутствием близкого родства. Чаще всего конвергенция охватывает общую форму тела. Классическим примером этого является сходство в форме тела у акулы, ихтиозавра и дельфина.

Параллелизм – это независимое приобретение сходных признаков родственными организмами. При этом сходство обусловлено частично общностью происхождения, а частично приспособлением к сходной среде. В отличие от конвергенции параллелизм осуществляется на основе эволюции гомологичных органов (как и при дивергенции). Таким образом, принцип параллельного развития является как бы промежуточным между дивергенцией и конвергенцией.

Яркие примеры параллелизмов приводит А. В. Марков (2004). Южная Америка долгое время была изолирована от других материков, но еще до наступления полной изоляции туда проникли примитивные плацентарные млекопитающие – кондилартры (древние копытные). Эволюция кондилартр протекала далее независимо в Южной Америке и на Большой земле (Старом Свете и Северной Америке). В результате на Большой земле кондилартры дали начало отрядам парно- и непарнокопытных, а в Южной Америке от них же произошли другие отряды копытных, нотоунгуляты, литоптерны, астрапотерии и пиротерии. Среди этих последних появились формы, поразительно схожие с настоящими лошадьми, носорогами, верблюдами, зайцами и даже слонами. А у лошадеподобных литоптерн редукция пальцев ног и увеличение среднего пальца с копытом происходила практически так же, как у настоящих лошадей. В Южной Америке обитали сумчатые, среди которых тоже появились жизненные формы, похожие на некоторых североамериканских и азиатских зверей. Сумчатый саблезубый тигр тилакосмилус, например, – «копия» плацентарных саблезубых тигров.

Следует заметить, что проблема параллелизма и конвергенции всё еще не достаточно проработана. Даже понятие «параллелизм» до сих пор четко не определено, а отличия между параллелизмом и конвергенцией не ясны. Л. П. Татаринцов пишет, что указанный выше «критерий гомологии не столь хорош, как это может показаться на первый взгляд, из-за сложного переплетения в строении сравниваемых органов или даже белковых молекул гомологичных и негомологичных частей. Так, крылья птиц, птерозавров и летучих мышей образованы передними конечностями и в целом гомологичны друг другу. Однако в деталях летательная функция обслуживается разными частями конечностей в каждой из перечисленных групп, перья вообще имеются только у птиц, и в строении крыла у этих позвоночных имеется множество негомологичных особенностей. Поэтому, используя критерии гомологии, мы почти с одинаковым правом можем считать крылья этих по-

звоночных гомологичными и аналогичными, т. е. и параллельными, и конвергентными образованиями. Ясен лишь факт их независимого формирования в каждой из названных групп» (Татаринов, 1987, с. 131). По мнению этого ученого, параллелизм в большей мере определяется особенностями организма, чем приспособлением, а конвергенция – наоборот, приспособлением. При таком понимании морфологические параллелизмы, действительно, обнаруживаются почти исключительно в гомологичных органах, а конвергенции – как в аналогичных, так и в гомологичных.

В свете сказанного следует считать неверным утверждение, что конвергенция никогда не бывает глубокой и легко распознается при детальном исследовании. Параллелизмы и конвергенции могут сочетаться даже в строении одного и того же органа. Поэтому отделить конвергенции от параллелизмов иногда бывает очень трудно или даже невозможно из-за взаимопереходимости этих явлений (Татаринов, 1987).

В некоторых случаях конвергентное развитие приводит к возникновению «симулирующих» форм, могущих привести к ошибочному их определению, а следовательно – и к неправильным выводам о возрасте вмещающих отложений. При параллельном развитии близкородственных филогенетических ветвей могут возникнуть формы, обладающие еще более глубоким сходством, чем при конвергенции. Внешне сходные формы, возникшие в результате процессов конвергенции или параллелизма, называются гомеоморфными. *Гомеоморфия – результат конвергентного или параллельного развития или усиления внешнего сходства (облика) у представителей necessarily родственных таксонов* (Анистратенко, 1998).

Существование внешне похожих организмов, принадлежащих к совершенно разным систематическим группам различного ранга, вносит путаницу при систематических исследованиях, когда обрабатывается палеонтологический материал, исходно ограниченный внешней морфологией (раковины, отпечатки, следы и т. п.). Однако неверная идентификация организмов неодинаково влияет на стратиграфические выводы. При изохронной гомеоморфии неправильное определение ископаемых не влечет грубых ошибок, т. к. симулирующие формы происходят из одновозрастных или близких по возрасту отложений. Но при гетерохронной гомеоморфии похожие формы характеризуют совершенно различные стратиграфические уровни, и ошибочные определения влекут за собой грубые ошибки в определении возраста. Явления гомеоморфии широко распространены среди беспозвоночных, в том числе брахиопод, при изучении которых возникло само понятие и обозначающий его термин. У представителей различных родов брахиопод часто встречается сходство наружных признаков раковин, и поэтому для их определения необходимо изучение внутреннего строения.

К существенным ошибкам может привести и параллельное развитие на уровне таксонов высокого ранга, особенно при использовании эволюционного метода. В качестве примера можно привести возникновение цератито-

вой перегородочной линии у настоящих цератитов (пермь – триас) и позднемеловых аммонитов семейства *Tissotiidae*.

Особым случаем параллелизма является процесс итеративной эволюции. Смысл его заключается в повторном появлении морфологически сходных форм, неоднократно обособляющихся от общего, длительно существующего основного ствола. Это явление было достаточно частым в развитии различных групп беспозвоночных. Например, допускается возникновение таким путем акул, грифееподобных форм двустворчатых моллюсков, неоднократно отделявшихся от основного устричного ствола,

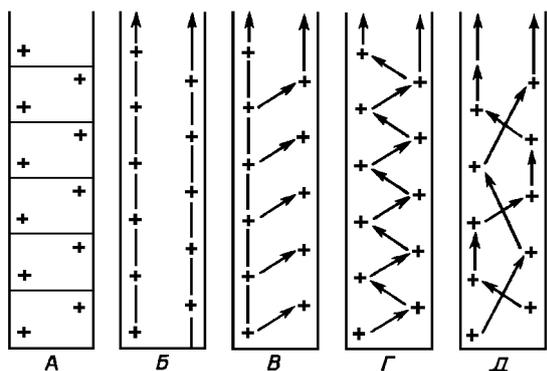


Рис. 30. Различные варианты интерпретации последовательностей гомеоморфных форм (Степанов, Месежников, 1979)

происхождением. Но на практике выявление путей возникновения симулирующих форм не всегда возможно и требует большого, тщательно изученного палеонтологического материала. Отдельные находки допускают различную интерпретацию, и по ним восстановить ход развития филума невозможно (рис. 30).

Осложняющие факторы, связанные с расселением. Эндемичные формы и комплексы. Ареалы видов и других таксонов животных и растений бывают различных размеров. Для целей стратиграфии, особенно для отдаленной корреляции, наиболее ценны роды и виды, обладающие обширными ареалами. Это, прежде всего, нектонные и планктонные морские организмы, позволяющие осуществлять межконтинентальную и глобальную корреляцию (головоногие моллюски, конодонты, граптолиты, планктонные фораминиферы).

Но многие формы организмов имеют небольшие ареалы и относятся к категории эндемиков. Эндемичные формы создают определенные трудности при установлении геологического возраста вмещающих отложений и корреляции далеко отстоящих разрезов. Причем наибольшие трудности создают не отдельные эндемики, а эндемичные фаунистические и флористические комплексы. Но при расчленении частных разрезов и внутрирегиональной корреляции эндемики могут быть использованы вместе с широ-

появление ряда семейств юрских аммонитов, произошедших от отрядов филлоцератид и литоцератид. Итеративное видообразование установлено для кембрийского рода трилобитов *Olenus*. В результате итеративной эволюции могут возникать морфологически сходные («симулирующие»), но разновозрастные формы, с чем необходимо считаться палеонтологу.

В заключение отметим, что различные «симулирующие» формы отличаются друг от друга своим

ко распространенными формами. В морских фаунах эндемиками являются многие представители бентоса.

Размеры видовых ареалов определяются тремя основными факторами: экологической валентностью, вагильностью (подвижностью) и степенью древности данного таксона.

Под экологической *валентностью* вида понимается способность его существовать в разнообразных жизненных условиях, т. е. степень его биологической «пластичности». Виды с высокой экологической валентностью способны заселять разнообразные местообитания, отвечающие широкому диапазону изменчивости экологических факторов. Они обозначаются как *эврибионтные* и обладают обычно обширными ареалами. Виды с низкой экологической валентностью могут переносить лишь небольшую амплитуду колебаний экологических условий. Они называются *стенобионтными*, распространены, как правило, на небольшой площади и часто являются эндемичными (Бобринский и др., 1946).

Под *вагильностью* понимается способность особей вида во взрослом состоянии или личиночной стадии к расселению, т. е. степень его подвижности и приспособленности к преодолению различных преград. Вагильные виды обычно имеют обширные ареалы, но встречаются исключения: в современной фауне некоторые виды птиц и бабочек-бразжников обладают узкими ареалами, хотя являются хорошими летунами. Среди менее вагильных видов больше эндемиков.

Геологический возраст, т. е. степень древности таксона, также может влиять на размеры ареала. Правда, зависимость эта не прямо пропорциональна. С эволюционной точки зрения различают две категории эндемиков: палеоэндемики и неоэндемики (Лопатин, 1980).

Палеоэндемики (консервативные, или реликтовые, эндемики) – виды очень древнего возраста, принадлежащие к ранее процветавшим группам. Их эндемизм возник в результате сокращения обширного первоначального ареала. В настоящее время многие из них находятся на грани исчезновения. Сохранению их благоприятствует изоляция. Реликтовые формы сохраняются чаще всего в более или менее изолированных участках моря или суши, так называемых рефугиумах (убежищах). Такими убежищами могут быть материковые острова, длительное время находящиеся в изоляции, или обособленные горные хребты. Примером может служить гаттерия – единственный сохранившийся только в Новой Зеландии современный представитель группы клювоголовых рептилий, широко распространенных в мезозое. Из растительных реликтов можно указать род гинкго, от юры до плиоцена существовавший на всех континентах и сохранившийся сейчас лишь в горах внутреннего Китая.

Неоэндемики (прогрессивные эндемики) – молодые виды, не успевшие расселиться за пределы первоначального центра своего возникновения. Они наиболее часто встречаются в пределах территорий со

своеобразными физико-географическими условиями и обособленных естественными преградами. Примером неозндемизма могут служить различные виды сигов, обитающие в озерах Центральной Европы и Британских островов.

Палеонтология дает много примеров неозндемизма, проявляющегося в виде вспышек видо- и родообразования в архаических группах перед их вымиранием. Например, продуктиды, палеозойская группа брахиопод, вымершая на рубеже палеозоя и мезозоя, в поздней перми дает вспышку возникновения ряда новых родов, в большинстве своем представленных одним или немногими видами.

Можно говорить и об эндемизме целых фаун и флор, обычно свойственном обособленным участкам биосферы. Эндемичными фаунами в настоящее время являются фауны озер Байкал и Танганьика, состоящие первая на 76 %, а вторая – на 73–75 % из эндемичных видов. Их эндемизм связан с ранней изоляцией этих озер. Другой пример – современные фауна и флора Австралии. Здесь эндемичны 75 % видов сосудистых растений и 50 % насекомых, из 31 рода млекопитающих эндемичны 28, из 270 родов птиц эндемичны 100.

Эндемичные ископаемые фауны и флоры доставляют значительные трудности при установлении геологического возраста и корреляции вмещающих отложений. Правильную корреляцию удастся осуществить по элементам, имеющим широкое пространственное распространение и могущим рассматриваться в качестве руководящих форм.

Суперститовые формы и комплексы. Этот термин предложен для обозначения отдельных форм или целых комплексов древнего облика, находящихся в более молодых отложениях, чем те, для которых они обычно характерны. Их присутствие в ископаемых фаунах и флорах удревает действительный геологический возраст вмещающих отложений.

Аналогами суперститовых форм в современном органическом мире являются дожившие до наших дней представители древних, давно вымерших групп, обозначаемые как «живые ископаемые». Их принято называть реликтовыми, но, в отличие от рассмотренных ранее географических реликтов, это реликты палеонтологические, т. е. реликты во времени. Классическим примером является кистеперая рыба *Latimeria*. Большинство палеонтологических реликтов является эндемиками с реликтовыми ареалами, но и здесь встречаются исключения: *Nautilus* – единственный доживший до настоящего времени наружнораковинный головоногий моллюск – имеет обширный ареал, охватывающий Индийский и Тихий океаны.

При стратиграфических исследованиях приходится встречаться с суперститовыми комплексами, но более часто отдельные суперститовые формы рассеяны в нормальных комплексах ископаемых и создают трудности для установления геологического возраста вмещающих отложений. Во многих подобных случаях мы имеем дело с палеонтологическими реликтами в

прошлом. А современная фауна млекопитающих Австралии целиком является суперститовой.

Суперститовыми могут оказаться и представители архистратиграфических групп. Например, в Мали (Западная Африка) в отложениях с богатой палеоценовой фауной был обнаружен аммонит *Indoceras*, до сих пор известный только из маастрихтских отложений Пакистана. В данном случае предпочтение было отдано согласованным показаниям других групп фауны, и отложения датировали как палеоценовые.

Сохранение суперститовых форм и целых фаун происходило, когда на определенной территории, в отличие от соседних областей, абиотические условия среды обитания оставались неизменными или фауна оказывалась изолированной, и поэтому она не вымирает и не вытесняется новыми иммигрантами. В таких убежищах (рефугиумах) реликты фауны или флоры могут сохраняться, когда по-соседству они уже исчезли.

Рекурренция. Под рекурренцией понимается повторное появление одних и тех же форм или целых фаунистических (флористических) комплексов в различных стратиграфических горизонтах. Она связана, прежде всего, с повторением в разрезе благоприятных фаций и обусловлена миграцией организмов, ушедших из первоначального места обитания и существовавших некоторое время за его пределами, а после восстановления соответствующих условий возвратившихся на старое место. Кроме этого, она бывает связана с периодическими изменениями условий сохранения органических остатков в ископаемом состоянии. В обоих случаях рекурренция фауны и флоры отражает рекурренцию соответствующих фаций. Особенно часто она наблюдается в толщах с ритмичным чередованием отложений различного фациального характера с многократным повторением в разрезе одних и тех же фаций.

Гетерохронное распространение форм и комплексов. Конкретные виды или комплексы могут проникнуть в новую область, и время их появления в ней, а также стратиграфический интервал распространения могут существенно отличаться от таковых в первоначальной области обитания. Такие формы и комплексы рассматриваются как *гетерохронные*.

Распознать гетерохронный вид возможно путем изучения всего фаунистического комплекса. Но если фауна расселяется медленно, то ее первое появление в разных разрезах может оказаться на различных стратиграфических уровнях, хотя доказательство этого бывает трудно получить. Эти факты доказывают неправильность мнения о практически одновременном появлении руководящих видов в соответствующих горизонтах.

Фактор расселения и миграции приобретает особое значение для наземных фаун квартера. Здесь необходимо учитывать, что средняя продолжительность существования видов превышает продолжительность зональных подразделений этого периода. Поэтому уровень эволюционного развития родственных видов может быть использован для сопоставления только близко расположенных разрезов, а основанная на таком подходе отдаленная

корреляция может быть ложной. В подобных случаях образование географических подвигов может как бы симулировать возникновение подвигов во времени, и мы можем в одном районе встретить более продвинутый подвид, чем в другом, при их полной одновременности. Так, субфоссильные барсуки с территории Дании сходны с рецентными барсуками Швеции, а современная датская популяция барсуков имеет более прогрессивный тип озубления.

Осложняющие факторы вторичного характера

В этих случаях затруднения в интерпретации палеонтологического материала связаны с переотложением ископаемых остатков организмов различного масштаба. Чаще всего встречается переотложение отдельных единичных остатков, но иногда переотложенными оказываются целые фаунистические и флористические комплексы. Будучи невыявленными, подобные явления обуславливают ошибочные заключения о геологическом возрасте вмещающих отложений и искажают данные о стратиграфическом распространении ископаемых форм, что может привести к ошибкам в дальнейшем. Впрочем, в некоторых случаях и переотложенные комплексы могут использоваться для местного стратиграфического расчленения.

Переотложенные ископаемые остатки можно разделить на следующие группы: 1) глыбы и валуны с фауной в составе грубообломочных толщ, экзотические бескорневые скалы, останцы тектонических покровов, ледниковые отторженцы; 2) отдельные окаменелости и их комплексы, вымытые из первоначально вмещавших их горных пород и переотложенные в более молодых толщах; 3) окаменелости из более молодых отложений, «вмытые» в подстилающие более древние толщи. Особую категорию представляет образование смешанных комплексов при конденсации разрезов.

Переотложенные обломки пород с остатками организмов. Явление, когда осадочная толща включает обломки или глыбы пород с фауной из более древних отложений, широко распространено. Наиболее типичным примером является присутствие галек, содержащих органические остатки, в базальных толщах. Иногда они оказываются вообще единственными документами для установления, хотя бы приближенно, возраста вмещающей толщи. По ним же в некоторых случаях можно уточнить возраст орогенической фазы, предшествовавшей образованию изучаемой толщи.

Иногда глыбы во вторичном залегании являются единственными свидетельствами существования отложений соответствующей системы. В качестве примера можно указать на экзотические глыбы каменноугольного и пермского возраста, находящиеся во вторичном залегании в триасово-юрских флишевых толщах Крыма. Их рассматривают как тектонические отторженцы с материка или как останцы коренных отложений, выдавленные снизу к земной поверхности.

Переотложение ископаемых и их комплексов. Эта категория связана с нахождением во вторичном залегании обломков с фауной в грубообломочных и конгломератовых толщах, т. к. грубообломочному материалу час-

то сопутствуют отдельные окаменелости, вымытые из глыб пород в процессе их выветривания, предшествовавшего их захоронению в более молодых осадках. Иногда глыбы переотложенных пород бывают окружены вымытыми из них окаменелостями, рассеянными в цементе, но не сингенетичными ему. В подобных случаях вторичность нахождения окаменелостей во вмещающей породе устанавливается сравнительно легко.

Трудности значительно больше, когда аллохтонные и автохтонные элементы встречаются вместе и не различаются по условиям захоронения и характеру сохранности.

С переотложением окаменелостей наиболее часто приходится сталкиваться в терригенных обломочных толщах, но встречаются они и в карбонатных породах. Переотложенными могут оказаться ископаемые остатки самых различных организмов: раковины беспозвоночных, кораллы, кости и зубы позвоночных, мелкие растительные остатки, споры, пыльца и пр. В результате часто возникают комплексы смешанного состава, в которых вместе с коренными формами присутствуют и переотложенные. Иногда встречаются и целиком переотложенные комплексы организмов, особенно часто – фораминифер.

Обычно для обнаружения переотложенных остатков используется два критерия: характер сохранности и возрастное различие коренных и переотложенных элементов. Остатки организмов, вымытые из прежнего местонахождения и перенесенные к месту своего вторичного захоронения, обычно обнаруживают следы разрушения, несут на себе следы окатанности в виде сглаженной скульптуры или встречаются в виде фрагментов. Внутри переотложенных раковин может сохраниться порода первоначального захоронения, отличающаяся от вмещающих отложений, в которых они встречены. Иногда наблюдается корродированность поверхности переотложенных раковин или повреждения наиболее хрупких скелетных образований. Однако критерий сохранности может быть использован не всегда. Например, в породах, накапливавшихся в условиях спокойной гидродинамической обстановки (известняках и тонкоотмученных глинах), переотложенные раковины по своей сохранности неотличимы от коренных.

Второй критерий эффективен при значительной разнице в возрасте первичных и вторичных элементов, когда более древний облик переотложенных форм по сравнению с возрастом вмещающих отложений является достаточно очевидным. Но часто переотложенные формы по возрасту лишь немного древнее вмещающих отложений. В этих случаях возникает вопрос: действительно ли это переотложение, а не переживание более древних элементов фауны, что является не редким явлением. Если не наблюдаются указанные выше прямые признаки аллохтонности окаменелостей, то наиболее надежными из косвенных критериев являются тафономический и палеоэкологический. Тафономическими признаками аллохтонного захоронения могут быть сортировка окаменелостей по размерам или форме, наличие зако-

номерной ориентировки, особенно удлинённых форм, внедрение и вдавленность одних раковин или створок в другие и т. п.

Палеоэкологический критерий предполагает анализ экологических взаимоотношений членов изучаемого ориктоценоза. В частности, совместное присутствие в одном слое остатков организмов, занимавших в древнем бассейне различные экологические ниши, указывает на наличие переноса органических остатков. Явления переноса могут быть различного масштаба: от геологически одновременного (синхронного) незначительного перемещения в пределах одной биофации до привноса в осадки более древних форм, вымытых из нижезалегающих толщ, т. е. переотложения.

Следует заметить, что некоторые группы ископаемых практически всегда до захоронения претерпевают более или менее значительный перенос. Это пелагические (планктонные и нектонные) животные, наземные животные, захоронившиеся в местонахождениях водного генезиса, а также споры и пыльца. Аллохтонное захоронение в условиях синхронного (геологически одновременного) переноса остатков не исключает возможности их использования для установления геологического возраста. В частности, самая детальная стратиграфия квартала строится по зубам грызунов, но все они в аллювиальных отложениях являются перенесёнными.

Нахождение во вторичном залегании ископаемых, переотложенных из более молодых отложений, вмыв. Иногда во вторичном залегании присутствуют ископаемые из более высоких, чем вмещающие отложения, стратиграфических уровней, вплоть до остатков современных организмов. Чаще всего подобные случаи связаны с керновым материалом из буровых скважин и объясняются заносом фоссилий глинистым раствором из вышележащих слоев в нижележащие. Заносятся современные микроорганизмы в пробы пород при неаккуратном взятии образцов и изготовлении препаратов при палинологических исследованиях. Особенно легко в такие препараты попадают споры и пыльца современных растений. Как-то в литературе появилось сообщение об обнаружении пыльцы покрытосеменных растений в нижнекаменноугольных отложениях Московской синеклизы. Но последующие исследования это открытие не подтвердили. Скорее всего, в препарат попала современная пыльца при недостаточно стерильном взятии проб.

Иногда «загрязнение» спорами и пылью из более молодых отложений происходит без участия человека. Одним из примеров может быть обнаружение девонских и каменноугольных спор в докембрии Воронежского кристаллического массива. В данном случае произошло поглощение палеозойских спор трещинами в толщах докембрийских пород. В контрольном образце в трещинах были найдены очень хорошо сохранившиеся палеозойские и мезозойские споры, а на участках породы, не затронутых трещиноватостью, никаких спор обнаружено не было.

Такое проникновение микрофоссилий по трещинам и каналам растворения из верхних горизонтов разреза в более низкие обозначается как «вмыв».

Смешанные фаунистические и флористические комплексы, конденсация разрезов. Смешанные комплексы ископаемых характеризуются совместным присутствием в одном слое разновозрастных форм, которые в условиях нормального разреза встречаются в нескольких последовательно залегающих фаунистических или флористических зонах. Они обусловлены явлением конденсации разреза или «сгущения» зон. Иногда конденсированные слои представляют собой маломощные конгломераты, содержащие фауну разных горизонтов.

Конденсация разреза может возникать в результате прерывистого осадконакопления, сопровождавшегося частичным растворением ранее образовавшегося осадка, а также может быть вызвана замедленным, хотя и непрерывным, осадконакоплением в условиях так называемых «голодающих бассейнов». Это выражение употребляется для обозначения осадочных бассейнов с маломощным разрезом по сравнению с соседними областями из-за того, что скорость погружения была значительно большей, чем скорость осадконакопления.

От конденсации разреза следует отличать явление *стратиграфической редукции*, приводящей к образованию *редуцированных разрезов*, характеризующихся аномально малой мощностью отдельных биостратиграфических горизонтов при отсутствии смещения зональных форм, присущих различным стратиграфическим уровням.

Фаунистический комплекс конденсированного слоя часто не отражает состав прижизненного сообщества (биоценоза), в нём могут присутствовать геологически разновозрастные элементы. Для обозначения ассоциаций ископаемых, в которых невозможно разграничить геологически разновозрастные элементы, предложен термин «кладбище» (cemetery). Одной из задач изучения ориктоценозов отдельных слоев и пачек является распознавание комплексов, отвечающих былым биоценозам, с одной стороны, и «кладбищ» – с другой.

Значительную роль в образовании смешанных комплексов органических остатков играют *турбидитные* потоки. Их отложения – турбидиты – широко распространены на дне современных морей и океанов, где образуются обычно на глубинах свыше 2000 м. Они содержат переотложенные остатки мелководной фауны и наземной флоры, снесенные с прилегающих поднятий.

Далеко не всегда древний осадочный материал равномерно перекрывается более молодым: уже на глубине 20 м происходит частичный снос ранее отложившегося материала, и может произойти вторичное отложение слоев, в которых будут встречаться более древние формы, смешанные с представителями более молодой морской фауны. В осадках Северного моря наблюдается иногда смешение современных раковин с ископаемыми всего фанерозойского разреза от кембрия до голоцена.

Вариантом переотложения является присутствие в осадках форм, чуждых данной фации, хотя и синхронных последней. Примером может быть занос реками в дельты и приустьевые части моря костей наземных позвоночных и остатков наземных растений. Это очень важные в стратиграфическом отношении местонахождения, поскольку позволяют сопоставить континентальные и морские отложения. Раковинки мелких морских фораминифер при осушении прибрежных пляжей уносятся ветрами далеко в глубь материка и могут присутствовать в отложениях пустынь. Пыльца наземных растений заносится ветрами в области открытого моря и сохраняется даже в глубоководных осадках.

5. МЕЖДУНАРОДНЫЙ СТРАТИГРАФИЧЕСКИЙ СПРАВОЧНИК И СТРАТИГРАФИЧЕСКИЙ КОДЕКС РОССИИ В СРАВНЕНИИ

Начало XXI в. ознаменовалось выходом в свет двух важнейших стратиграфических документов: Международного стратиграфического справочника (2002) и Стратиграфического кодекса России (2006). Изданию справочника на русском языке предшествовала публикация на английском языке его сокращенной версии под редакцией М. Мёрфи и А. Сальвадора в 1999 г., а еще раньше – первого издания Международного стратиграфического справочника (1978) под ред. Х. Хедберга (International Stratigraphic Guide, 1976).

Стратиграфический кодекс России (2006) в третьем издании незначительно отличается от предшествующего Стратиграфического кодекса (1992), что указывает на вполне сложившиеся взгляды отечественных специалистов.

Международный стратиграфический справочник во введении (глава 1) объявляет своей целью разработку всемирно приемлемых стратиграфической терминологии и правил для совершенствования международного общения и взаимопонимания. Вместе с тем, оговаривается, что Справочник предлагается в качестве рекомендуемого подхода, но не как кодекс.

Глава 2 «Принципы стратиграфической классификации» в полном соответствии с нормами системного подхода начинается с утверждения: «Стратиграфическая классификация охватывает все породы земной коры. Породы имеют много реальных и измеримых свойств и могут классифицироваться согласно любому из них. Породы могут классифицироваться также по времени и условиям их образования... Подразделения, основанные на одном свойстве, обычно не совпадают с подразделениями, выделенными по другому признаку. Поэтому невозможно отразить в одном типе стратиграфических подразделений изменения в породах всех различных свойств». То есть декларируется принцип множественной стратиграфии, а не единой геохронологической, как это принято у нас.

Далее выделяются следующие категории и подразделения классификации:

1. Литостратиграфические – группа, формация, пачка, пласт, поток.
2. Ограниченные несогласиями – синтема.
3. Биостратиграфические – биозоны (зоны распространения, интервал-зоны, зоны родословной, комплексные зоны, зоны обилия, другие зоны).
4. Магнитостратиграфической полярности – зоны полярности.
5. Хроностратиграфические – зонотема (зон), эратема (эра), система (период), серия = отдел (эпоха), ярус (век), подъярус (подвек или век), хронозона (хрон).
6. Другие (неофициальные) стратиграфические категории – минералогические, стабильных изотопов, экологические, сейсмические и пр.

Отмечается, что хроностратиграфические подразделения имеют наибольшее значение для глобального применения и выбраны для международного общения между стратиграфами. Литостратиграфические, биостратиграфические и ограниченные несогласиями подразделения применяются в региональном масштабе.

Далее в главе 3 приводятся определения стратиграфических подразделений и излагается процедура их выделения. Большинство определений и правил вполне соответствуют таковым в отечественном кодексе. Существенным исключением является определение *горизонта* как поверхности раздела в стратиграфическом разрезе, в отличие от геологического тела в нашем понимании. Названия официальных стратиграфических подразделений должны начинаться с заглавной буквы, в отличие от строчной буквы в русской документации.

В Стратиграфическом кодексе России классификация стратиграфических подразделений начинается с их деления на две группы – основные и специальные, которые в свою очередь делятся на категории.

В группе *основных* подразделений выделяются категории общих, региональных и местных подразделений. Общими подразделениями являются акротема, зонотема, эратема, система, отдел, ярус, хронозона, а для подразделений четвертичной системы – раздел, звено и ступень. Региональные – горизонт и слои с географическим названием. Местные – комплекс, серия, свита и пачка. То есть общие подразделения примерно соответствуют хроностратиграфическим Международного стратиграфического справочника, отличаясь более широким диапазоном, а серия обозначает совсем другое подразделение из категории местных.

Группа *специальных* стратиграфических подразделений включает:

- морфолитостратиграфические – органогенные массивы, олистостромы, клиноформы;
- стратогены;
- биостратиграфические – биозоны различных видов, ареальные зоны, вспомогательные подразделения (слои с фауной или флорой);
- климатостратиграфические – климатолит, стадиал;
- магнитостратиграфические – магнитозоны различного ранга;
- сейсмостратиграфические – сейсмокомплексы.

Глава 4 Справочника «Стратотипы и типовые местности» определяет стратотип как материальный стандарт стратиграфического подразделения. В Стратиграфическом кодексе России в приложении 2 этот же раздел освещен более полно.

Глава 5 «Литостратиграфические подразделения» ничего общего не имеет с главой «Морфолитостратиграфические подразделения» в Кодексе России (2006) и частично повторяет одноименную главу в Кодексе (1992). В предыдущем Стратиграфическом кодексе 1992 г. литостратиграфические подразделения включали толщу, пачку, слой (пласт), маркирующий горизонт, а также органогенный массив и стратоген.

В приведенном выше перечне литостратиграфических подразделений Международного справочника самыми крупными являются группа и формация.

Группа – это несколько формаций, что, видимо, может отвечать нашим комплексу или серии, но только не эратеме в ее старом наименовании.

Формация – первичное (основное) официальное подразделение литостратиграфической классификации, выделяемое на основе литологических различий с учетом детальности картирования и геологической изученности. На формации должна быть полностью подразделена вся стратиграфическая колонка. В Кодексе России мы можем предполагать основной аналог формации в свите.

Комплекс – это литостратиграфическое подразделение для объединения разных типов пород (осадочных, изверженных, метаморфических), а также характеризующееся неравномерно смешанными литологическими признаками или очень сложными структурными взаимоотношениями. То есть этот стратон существенно отличается от одноименного комплекса в иерархии местных стратиграфических подразделений Кодекса России 2006 г.

Остальные литостратиграфические подразделения – пачка, пласт, поток – это российские местные стратоны, среди которых важное место занимает и *толща*, не имеющая эквивалента в Международном справочнике.

Глава 6 «Подразделения, ограниченные несогласиями» не имеет аналога в Кодексе России (2006), но ей достаточно полно соответствует «Дополнение 1. Секвенс-стратиграфические подразделения» в Дополнениях к Стратиграфическому кодексу России (2000). По определению это толщи пород, ограниченные сверху и снизу значительными несогласиями регионального или межрегионального масштаба. Основным видом такого подразделения в Международном справочнике является *синтема*, в то время как в Дополнениях (2000) и в практике работ за основную региональную единицу принят *секвенс*. В Справочнике подчеркивается, что эти подразделения следует устанавливать только там и тогда, когда другие типы стратиграфических подразделений не могут быть выделены.

Глава 7 «Биостратиграфические подразделения» соответствует одноименной главе в Стратиграфическом кодексе России (2006). Это совокупности пород, которые выделяются и характеризуются по содержащимся в них ископаемым остаткам. Поэтому они являются объективными подразделениями, основанными на неповторимости и необратимости эволюционных изменений. Как и в российском Кодексе, выделяется шесть типов биозон: 1) зона распространения таксона, 2) зона совместного распространения, 3) интервал-зона, 4) зона родословной, 5) комплексная зона, 6) зона обилия. В российском Кодексе (2006) выделяется еще *экозона* как вариант комплексной зоны, а по ареалу распространения биостратиграфические зоны подразделяются на *местные* и *провинциальные*. Кроме того, в качестве вспомогательного подразделения выделяются *слои с фауной (флорой)*.

В Справочнике подчеркивается, что характеризующие биостратиграфические зоны не являются разными по рангу в биостратиграфической иерархии, за исключением подзон и надзон. В отношении зон распространения таксонов иерархия зональных терминов определяется иерархической системой биологических таксонов.

Глава 8 «Подразделения магнитостратиграфической полярности» переключается с главой «Магнитостратиграфические подразделения» в отечественном Кодексе (2006). Она начинается с объяснения природы магнитной полярности, а в качестве основного официального подразделения указывается *зона магнитостратиграфической полярности*. Зоны полярности могут разделяться на *подзоны полярности* и группироваться в *надзоны полярности*. Их цифровое или буквенное обозначение может использоваться неофициально и не рекомендуется как общая практика.

В Стратиграфическом кодексе России (2006) магнитостратиграфические подразделения прежде всего разделяются на магнитополярные и магнитные. Магнитополярные подразделения (зоны полярности) образуют таксономическую шкалу из следующих соподчиненных единиц: *мегазона, гиперзона, суперзона, ортозона, субзона, микрозона*. Основным подразделением магнитостратиграфической шкалы является ортозона, представляющая собой монополярный интервал разреза или сочетание разнополярных субзон. Разработана система индексации магнитополярных подразделений для общей, региональных и местных шкал.

Глава 9 «Хроностратиграфические подразделения» не имеет прямого аналога в российском Кодексе 2006 г., и ей частично соответствует глава 3 «Общие стратиграфические подразделения». Под хроностратиграфическим подразделением понимается совокупность пород как слоистых, так и неслоистых, которые сформировались в течение определенного интервала геологического времени. Иерархический ряд официальных хроностратиграфических подразделений и их геохронологических аналогов включает *зонотему (эон), эратему (эру), систему (период), серию = отдел (эпоху), ярус (век), подъярус (подвек или век)*. В этот ряд не входит *хронозона (хрон)* – также официальное хроностратиграфическое подразделение неопределенного ранга, представляющее собой «совокупность пород, сформированных в каком-либо месте в рамках временного диапазона какого-либо стратиграфического подразделения или геологического явления». То есть хронозона устанавливается не только по биостратиграфическим данным, как у нас, но и по другим основаниям – литостратиграфическим, магнитостратиграфическим и т. д.

В главе приводятся определения стратотипов, стандартная глобальная хроностратиграфическая (геохронологическая) шкала, а также ряд требований и рекомендаций по выделению хроностратиграфических подразделений и их корреляции. В частности, отмечается как ошибочное употребление термина «серия» в качестве литостратиграфического подразделения. Подчеркивается преимущество определения хроностратиграфических подразделений стратотипами их нижних границ.

Глава 10 «Соотношение между различными типами стратиграфических подразделений» посвящена оценке различных типов стратон и практически является обоснованием принципа множественной стратиграфии.

Литостратиграфические подразделения объявляются основными единицами геологического картирования. Содержащиеся в них ископаемые организмы могут служить только дополнительным признаком при их литологической характеристике. «Поскольку каждое литостратиграфическое подразделение сформировалось в определенный промежуток геологического времени, оно имеет хроностратиграфическое значение. Однако понятие времени при установлении и идентификации литостратиграфических подразделений и их границ имеет небольшое значение. На литологию обычно сильнее влияют условия образования, чем время образования».

Биостратиграфические подразделения, основанные на ископаемых организмах, выделяются только в слоях, содержащих идентифицируемые ископаемые остатки. Границы литостратиграфических и биостратиграфических подразделений могут локально совпадать, но обычно они пересекаются. Как и литостратиграфические подразделения, они отражают изменения среды осадконакопления и при этом являются указателями геологического возраста. «Ввиду своей специфики они не могут повторяться во времени, так как основаны на необратимых эволюционных изменениях».

Подразделения, ограниченные несогласиями, могут включать ряд стратиграфических подразделений других типов, представлять весь объем или части хроностратиграфических подразделений. Однако их границы всегда диахронны и не соответствуют границам хроностратиграфических подразделений.

Подразделения магнитостратиграфической полярности схожи с хроностратиграфическими, но не являются таковыми, т. к. «они определяются прежде всего не свидетельствами времени, а специфическим физическим свойством, изменением полярности остаточной намагниченности, которое не является мгновенным». Для их идентификации необходимо привлечение других свидетельств возраста, таких как палеонтологические или изотопные данные.

Хроностратиграфические подразделения определяются как совокупности пород, образовавшихся в течение определенных временных промежутков истории Земли. В отличие от других типов подразделений границы их везде синхронны. Однако если другие типы стратиграфических подразделений устанавливаются на основе наблюдаемых физических признаков, то хроностратиграфические подразделения устанавливаются на основе времени их образования – «абстрактного свойства, получаемого путем интерпретации наблюдаемых признаков». Близко соответствовать хроностратиграфическим подразделениям могут биостратиграфические подразделения, некоторые литостратиграфические (например, слои вулканического пепла), а также подразделения магнитостратиграфической полярности.

Хроностратиграфические подразделения, основанные на геологическом времени, «в принципе имеют глобальное распространение и создают основу для мирового общения и взаимопонимания».

В заключение нужно отметить, что в Международном стратиграфическом справочнике (2002) нет ряда разделов, содержащихся в Кодексе России 2006 г., таких как «Климатостратиграфические подразделения», «Сеймостратиграфические подразделения», «Правила составления стратиграфических схем», и тем более не затронуты вопросы, освещенные в Дополнениях к Стратиграфическому кодексу России (2000).

История возникновения двойственности в понимании стратиграфической классификации, т. е. европейского и американского подходов, обстоятельно изложена в учебнике В. А. Прозоровского (2003). Там же, а также в Обзоре зарубежных стратиграфических кодексов (Жамойда и др., 1969) анализируется содержание существующих иностранных стратиграфических кодексов.

6. ОПОРНЫЕ И ТИПОВЫЕ РАЗРЕЗЫ. ЗАДАЧИ И ПРАВИЛА ИЗУЧЕНИЯ И ОПИСАНИЯ

Опорным стратиграфическим разрезом называется представительный разрез осадочных и (или) вулканогенно-осадочных толщ, позволяющий установить последовательность отложений, обосновать стратиграфический объем и возрастные границы стратиграфических подразделений и на основе оптимального комплекса исследований (методов), в первую очередь литологических и палеонтологических, с достаточной полнотой охарактеризовать отложения, развитые на данной территории.

Опорные стратиграфические разрезы являются основой для подготовки местных и региональных стратиграфических схем, на материале которых составляются легенды геологических карт.

Изучение опорных стратиграфических разрезов является специальным видом исследований, осуществляемым на стадии, предшествующей геологической съемке. Как исключение оно может проводиться в процессе геологической съемки и при доизучении территории, а также при подготовке карт к изданию.

При отсутствии изученных опорных разрезов на площади геологической съемки (лист или группа листов) составляются типовые разрезы, отражающие наиболее важные особенности состава и строения стратиграфических подразделений на данной территории. Изучение этих разрезов является составной частью геолого-съёмочных работ.

При описании опорных стратиграфических разрезов обязательно проведение литологических, палеонтологических и геохимических исследований. При наличии пород, пригодных для соответствующих видов анализа, должны быть проведены палеомагнитные и геохронометрические исследования. Для вулканогенно-осадочных образований проводятся также петрофизические и минералогические исследования.

В качестве опорных стратиграфических разрезов в соответствии с задачами исследований выбираются:

а) разрезы осадочных толщ, представляющие наиболее полную и палеонтологически хорошо охарактеризованную последовательность отложений, отражающие специфику конкретных геологических регионов и (или) седиментационных палеобассейнов;

б) наиболее полные разрезы продуктивных осадочных и вулканогенно-осадочных толщ, характеризующие возраст, строение и литолого-фациальные особенности бассейнов экзогенного рудообразования (нефтеносных, угленосных и др.);

в) разрезы, типичные для определенных структурно-фациальных зон седиментационных палеобассейнов, располагающиеся на площадях, на которых проводится или планируется геологическая съемка, либо на площадях, по которым планируется издание геологических карт;

г) стратотипы вновь устанавливаемых или подвергающихся ревизии общих, региональных или местных стратиграфических подразделений, а также стратотипы границ стратиграфических подразделений (лимитотипы).

Опорные стратиграфические разрезы (кроме стратотипов границ стратиграфических подразделений) могут быть составными. В этом случае они должны представлять собой серию надстраивающих друг друга (с частичным перекрытием) разрезов, располагающихся в районах наименьшего развития тектонических и гляциоморфологических нарушений. В качестве опорного разреза может рассматриваться также совокупность увязанных между собой скважин.

При полевом описании опорных разрезов приводятся:

а) точное географическое местоположение разреза, указание региона и структурно-фациальной зоны, стратиграфическая и топографическая привязки начала и конца разреза;

б) общая характеристика разреза, краткая характеристика подстилающих и перекрывающих смежных образований (особенности контактов, вещественный состав);

в) послойное снизу вверх литолого-палеонтологическое, а также петрографическое (в случае широкого распространения вулканогенно-осадочных пород) описание.

Общая характеристика разреза, подстилающих и перекрывающих смежных образований должна сопровождаться изображением обнажений, представляющих в совокупности данный опорный разрез (фотографии и зарисовки в масштабе, достаточном для отражения необходимых сведений о разрезе). На зарисовках и фотографиях должны быть отображены границы, соотношения и условия залегания всех выделяемых в разрезе подразделений, а также положение и характер взаимоотношений данного подразделения с подстилающими и перекрывающими его смежными стратиграфическими подразделениями.

Послойное литолого-палеонтологическое описание рекомендуется проводить в нижеуказанной последовательности.

Литологическое описание:

а) общая характеристика слоя – название породы (пород), ее цвет, вещественный состав, структура и текстура;

б) направленность изменений состава, структурных и текстурных признаков в пределах всего слоя;

в) структурные компоненты породы, в том числе органические остатки, и их количественные соотношения;

г) конкреции, примеси, включения, вторичные изменения и другие литологические признаки;

д) прослой с указанием их состава, мощности, границ и распределения в слое;

е) верхняя поверхность наслоения и характер перехода к следующему слою;

ж) мощность слоя.

Послойное описание разреза сопровождается сбором остатков организмов (включая пробы на микропалеонтологический анализ), отбором проб на геохимический, палеомагнитный, изотопно-геохронометрический, минералогический, петрофизический и другие виды анализов – в соответствии с принятыми методиками опробования.

Палеонтологическая характеристика включает:

а) таксономический состав остатков и характер следов жизнедеятельности организмов, обнаруженных в данном слое;

б) количественное соотношение представителей различных групп фауны и флоры (с выделением доминантных, сопутствующих и редко встречающихся форм);

в) степень сохранности остатков организмов (хорошая, удовлетворительная, плохая);

г) характер захоронения (прижизненное положение, цельность или фрагментарность остатков, окатанность и другие свидетельства переноса и переотложения или их отсутствие);

д) характер фоссилизации (внутренние и внешние ядра, отпечатки, скелетные образования, мумификаты и др.);

е) ориентировка остатков организмов, в особенности при массовых захоронениях, – географическая и по отношению к плоскости напластования.

Приводятся сведения (если таковые имеются) об остатках организмов или следах жизнедеятельности, собранных ранее в данном разрезе (со ссылками на опубликованные или фондовые работы и музейные коллекции).

При описании опорных разрезов по материалам бурения скважин необходимыми условиями являются:

а) достаточно крупный начальный диаметр и возможно полный выход керна;

б) проведение полного комплекса каротажа.

При этом в дополнение к вышеуказанным сведениям приводятся:

а) карта с нанесенным местоположением скважины (скважин);

б) интервалы вскрытия изученных стратонов, процент и степень равномерности выхода керна в пределах этих интервалов;

в) графическое изображение разреза (колонки), в обязательном порядке сопровождаемое промыслово-геофизическими диаграммами;

г) послойная промыслово-геофизическая характеристика разреза (материалы полного комплекса каротажа).

При описании опорных разрезов четвертичных отложений обязательно также применение геоморфологических и палеомагнитных методов.

Более подробно описание опорных разрезов регламентируется в инструкции «Задачи и правила изучения и описания опорных стратиграфических разрезов» (Предтеченский Н. Н., 1983).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Структура стратиграфии содержит два главных раздела: общая (теоретическая стратиграфия, метастратиграфия, эпистратиграфия) и частная, или региональная, стратиграфия.

К настоящему времени сложились две главные концепции стратиграфии.

1. Классическая, европейская, временная, геохронологическая. Её конечной целью является установление времени образования слоёв земной коры и разработка планетарной системы геосторической периодизации на основе палеонтологического метода с привлечением всех других.

2. Параллельно развивающаяся американская концепция, отраженная в «Международном стратиграфическом справочнике» (2002), – признание самостоятельности, равноценности и независимости различных категорий: литостратиграфических, биостратиграфических и хроностратиграфических. Для потребностей геологического картирования внимание уделяется реальным геологическим телам и их вещественному составу. Ведущий метод – литологический. Временной или геохронологический аспект отходит на второй план. Палеонтологический метод (биостратиграфический) становится второстепенным, т. к. не обеспечивает соблюдение естественности границ.

О перспективах развития стратиграфии большинство стратиграфов судят вполне однозначно. Она будет более формализованной, логически обоснованной. Очевидно, будет развиваться классическое направление – детальное стратиграфическое расчленение, которое позволит разбить зону для уточнения корреляции. Будет развиваться событийная стратиграфия, основанная на геологически мгновенных событиях.

Палеонтологические методы сохранят ведущее положение на основе новых биологических методов – генетики, биохимии, экологии и т. д. Будут использоваться новые группы микрофоссилий и хемофоссилии – следы аминокислот.

Стратиграфия будет иметь большое значение для геологии и применяться для определения будущих условий жизни человека, для изучения истории Земли и эволюции биосферы.

Стратиграфия фанерозоя будет совершенствоваться благодаря использованию климатостратиграфических и событийных принципов стратиграфии четвертичных отложений, а стратиграфия докембрия – на основе абсолютной геохронологии и планетологии.

ЛИТЕРАТУРА

Анистратенко В. В. Гомеоморфия: суть явления и его значение для систематики и филогенетики (на примере брюхоногих моллюсков) / В. В. Анистратенко // *Vestnik zoologii*. – 1998. – Т. 32. – № 1–2. – С. 98–107.

Бобринский Н. А. География животных / Н. А. Бобринский, Л. А. Зенкевич, Я. А. Бирштейн. – М. : Советская наука, 1946. – 455 с.

БСЭ. (Большая советская энциклопедия). – М., 1975.

Вассоевич Н. Б. О времени проявления на Кавказе орогенических фаз Альпийской зоны дислокации / Н. Б. Вассоевич. – Л., 1934. – 30 с.

Вассоевич Н. Б. К методике палеонтологического изучения флиша / Н. Б. Вассоевич // *Материалы ВСЕГЕИ. Палеонтология и стратиграфия*. – 1948. – Сб. 5. – С. 34–63.

Вассоевич Н. Б. Слоистость в свете учения об осадочной дифференциации / Н. Б. Вассоевич // *Изв. АН СССР. Серия Геология*. – 1950. – № 5. – С. 96–115.

Вейнмарн А. Б. Методы анализа глобальных катастрофических событий при детальном стратиграфическом исследовании : методические рекомендации / А. Б. Вейнмарн [и др.]. – М. : Изд-во МГУ, 1998. – 190 с.

Верхний плиоцен бассейна Верхнего Дона / Г. В. Холмовой [и др.]. – Воронеж : Изд-во ВГУ, 1985. – 144 с.

Вилли К. Биология / К. Вилли. – М. : Мир, 1968. – 808 с.

Вылцан И. А. Геологические перерывы, несогласия, их диагностика, соотношение и классификация / И. А. Вылцан // *Геология и геофизика*. – 1989. – № 1. – С. 19–36.

Геоисторический и геодинамический анализ осадочных бассейнов / под ред. П. П. Лоха. – М., 1999. – 524 с.

Геологический словарь. – М. : Недра, 1973. – Т. 2. – 456 с.

Гладенков Ю. Б. Перспективы инфразонального (микростратиграфического) расчленения осадочных толщ / Ю. Б. Гладенков // *Стратиграфия. Геологическая корреляция*. – 1995. – Т. 3. – № 4. – С. 3–15.

Гладенков Ю. Б. Биосферная стратиграфия (проблемы стратиграфии начала XXI века) / Ю. Б. Гладенков // *Тр. ГИН РАН*. – М. : ГЕОС, 2004. – Вып. 551. – 120 с.

Головкинский Н. А. О пермской формации в центральной части Камско-Волжского бассейна / Н. А. Головкинский // *Материалы для познания геологии России*. – СПб., 1868. – Т. 1. – С. 273–415.

Горский Д. П. Краткий словарь по логике / Д. П. Горский, А. А. Ивин, А. Л. Никифоров. – М. : Просвещение, 1991. – 208 с.

Гретенер П. И. Размышления о «редком событии» и связанных с ним представлениях в геологии / П. И. Гретенер // *Катастрофы в истории Земли: новый униформизм*. – М., 1986. – С. 89–100.

Данбар К. Основы стратиграфии / К. Данбар, Дж. Роджерс. – М. : ИЛ, 1962. – 363 с.

Дарвин Ч. Происхождение видов / Ч. Дарвин. – М.–Л. : ОГИЗ ; Сельхозгиз, 1935. – 630 с.

Добровольский В. В. Гипергенез четвертичного периода / В. В. Добровольский. – М. : Недра, 1966. – 238 с.

Дополнения к Стратиграфическому кодексу России. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2000. – 112 с.

Еськов К. Ю. История Земли и жизни на ней : учебное пособие для старших классов / К. Ю. Еськов. – М. : МИРОС-МАИК «Наука/Интерпериодика», 2000. – 352 с.

Жамойда А. И. О подготовке второго издания Стратиграфического кодекса СССР. Основные положения проекта / А. И. Жамойда // Сов. геология. – 1989. – № 2. – С. 49–56.

Жамойда А. И. Обзор зарубежных стратиграфических кодексов / А. И. Жамойда, О. П. Ковалевский, А. И. Моисеева. – М. : Наука, 1969. – 104 с.

Жижченко Б. П. Микропалеонтологические методы стратиграфических построений в нефтегазоносных областях / Б. П. Жижченко. – М. : Недра, 1968. – 339 с.

Жинью М. Стратиграфическая геология / М. Жинью. – М. : ИЛ, 1952. – 639 с.

Зубаков В. А. Стратиграфия новейших отложений Западно-Сибирской низменности и принципы климатостратиграфической классификации : автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук / В. А. Зубаков. – Л., 1967. – 54 с.

Иорданский Н. Н. Эволюция жизни / Н. Н. Иорданский. – М. : Академия, 2001. – 268 с.

История геологии / под ред. И. В. Батюшковой. – М. : Наука, 1973. – 315 с.

Карогодин Ю. Н. Седиментационная цикличность / Ю. Н. Карогодин. – М. : Недра, 1980. – 242 с.

Корень Т. Н. Методика событийной стратиграфии в обосновании корреляции региональных стратонев на примере нижнего ордовика Северо-Запада России / Т. Н. Корень. – СПб. : ВСЕГЕИ, 1998. – 88 с.

Красилов В. А. Эволюция и биостратиграфия / В. А. Красилов. – М. : Наука, 1977. – 255 с.

Лайель Ч. Основные начала геологии : в 2 т. / Ч. Лайель. – СПб., 1868. – Т. 1. – 659 с.; Т. 2. – 562 с.

Леонов Г. П. Основы стратиграфии : в 2 т. / Г. П. Леонов. – М. : Изд-во МГУ, 1973. – Т. 1. – 530 с.; Т. 2. – 486 с.

Лопатин И. К. Зоогеография : учеб. для ун-тов / И. К. Лопатин. – Мн. : Вышэйш. шк., 1989. – 318 с.

Лопатин И. К. Основы зоогеографии : учеб. пособие для биол. спец. вузов / И. К. Лопатин. – Мн. : Вышэйш. шк., 1980. – 200 с.

Марков А. В. Ароморфозы и параллельная эволюция : доклад, прочитанный в Институте общей генетики 18 марта 2004 г. / А. В. Марков. – (<http://macroevolution.narod.ru/paral/paral.htm>).

Марков А. В. Количественные закономерности макроэволюции. Опыт применения системного подхода к анализу развития надвидовых таксонов / А. В. Марков, Е. Б. Неймарк. – М. : ГЕОС, 1998. – 318 с.

Международный стратиграфический справочник. Руководство по стратиграфической классификации, терминологии и их применению. – М. : Мир, 1978. – 226 с.

Международный стратиграфический справочник: Сокращенная версия. – М. : ГЕОС, 2002. – 38 с.

Мейен С. В. От общей к теоретической стратиграфии / С. В. Мейен // Сов. геология. – 1981. – № 9. – С. 58–69.

Мейен С. В. Введение в теорию стратиграфии / С. В. Мейен. – М. : Наука, 1989. – 216 с.

Мельников Н. В. Циклы седиментации в бассейновых условиях / Н. В. Мельников // Теоретические и методологические вопросы геологии нефти и газа. – Новосибирск : Наука, 1981. – С. 103–113.

Милеев В. С. Морфологическая классификация стратиграфических несогласий / В. С. Милеев // Бюл. МОИП. Отд. геол. – 1989. – Т. 64. – Вып. 6. – С. 15–28.

Михайлова И. А. Палеонтология : в 2 т. / И. А. Михайлова, О. Б. Бондаренко. – М. : Изд-во МГУ, 1997. – Т. 1. – 448 с.

Наливкин Д. В. Границы геологических объектов / Д. В. Наливкин // Зап. Ленинград. горн. ин-та. – 1974. – Т. 67. – Вып. 2. – С. 51–54.

Ожегов О. П. Словарь русского языка / О. П. Ожегов. – М. : Гос. изд-во иностр. и нац. словарей, 1963. – 900 с.

Пейве А. В. Тектоника и развитие Урала и Аппалачей – сравнение / А. В. Пейве // Геотектоника. – 1973. – № 3. – С. 3–13.

Попов И. Ю. Идея направленной эволюции: история и современность / И. Ю. Попов // Вестник СПбГУ. Сер. 7. – 2006. – Вып. 4. – С. 13–19.

Попов И. Ю. Появление концепции направленной эволюции / И. Ю. Попов // Эволюционная биология: история и теория. – СПб., 2003. – Вып. 2. – С. 155–172.

Практическая стратиграфия / под ред. И. Ф. Никитина, А. И. Жамойды. – Л. : Недра, 1984. – 320 с.

Предтеченский Н. Н. Задачи и правила изучения и описания опорных стратиграфических разрезов / Н. Н. Предтеченский. – Л., 1983. – 33 с.

Прозоровский В. А. Начала стратиграфии : учебник / В. А. Прозоровский. – СПб. : Изд-во СПбУ, 2003. – 228 с.

Романовский С. И. Великие геологические открытия / С. И. Романовский // Очерки по истории геологических знаний. – СПб. : ВСЕГЕИ, 1995. – Вып. 30. – 216 с.

Рухин Л. Б. Основы литологии / Л. Б. Рухин. – Л. : Гостоптехиздат, 1961. – 780 с.

Сейсмическая стратиграфия: использование при поисках и разведке нефти и газа. – М. : Мир, 1982. – 846 с.

Селли Р. Введение в седиментологию / Р. Сели ; пер. с англ. Х. Х. Хор. – М. : Наука, 1981. – 370 с.

Симаков К. В. К проблеме естественно-научного определения времени / К. В. Симаков. – Магадан : СВНЦ ДВО РАН, 1994. – 180 с.

Симаков К. В. К созданию теории палеобиосферного времени : в 3 т. / К. В. Симаков. – Магадан : СВНЦ ДВО РАН, 2004. – Т. 1. – 340 с.; Т. 2. – 244 с.; Т. 3. – 347 с.

Соколов Б. С. Биохронология и стратиграфические границы / Б. С. Соколов // Проблемы общей и региональной геологии. – Новосибирск : Наука, 1971. – С. 155–178.

Соколов Б. С. К читателям журнала «Стратиграфия. Геологическая корреляция» / Б. С. Соколов // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 1993. – Т. 1. – № 1. – С. 3–5.

Стенон Н. О твёрдом, естественно содержащемся в твёрдом / Н. Стенон. – М. : Изд-во АН СССР, 1957. – 151 с.

Степанов Д. Л. Общая стратиграфия / Д. Л. Степанов, М. С. Месежников. – Л. : Недра, 1979. – 424 с.

Стратиграфическая классификация, терминология и номенклатура. – Л. : Недра, 1965. – 70 с.

Стратиграфический кодекс. – СПб. : ВСЕГЕИ, 1992. – 120 с.

Стратиграфический кодекс России. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2006. – 96 с.

Стратиграфический кодекс СССР. – СПб. : ВСЕГЕИ, 1977. – 80 с.

Татаринов Л. П. Параллелизмы и направленность эволюции / Л. П. Татаринов // Эволюция и биоценотические кризисы. – М. : Наука, 1987. – С. 124–144.

Усов М. А. Фазы и циклы тектогенеза Западно-Сибирского края / М. А. Усов. – Томск : Изд-во Зап.-Сиб. геол. треста. – 1936. – 209 с.

Философский словарь / под ред. И. Т. Фролова. – М. : Политиздат, 1987. – 590 с.

Фролов В. Т. Наука геология: философский анализ / В. Т. Фролов. – Воронеж : Изд-во ВГУ, 2004. – 78 с.

Хаин В. Е. История и методология геологических наук / В. Е. Хаин, А. Г. Рябухин. – М. : Изд-во МГУ, 1997. – 224 с.

Халфин Л. Л. О тектоностратиграфическом направлении в геологии и о принципах стратиграфии / Л. Л. Халфин // Основные идеи М. А. Усова в геологии. – Алма-Ата : Изд-во АН Каз. ССР, 1960. – С. 381–394.

Холмовой Г. В. Экстремальные события новейшей геологической истории (опыт типизации и классификации) / Г. В. Холмовой, Ю. А. Лаврушин // Вестник Воронеж. ун-та. Серия Геология. – 1999. – № 2. – С. 17–20.

Шатский Н. С. О неокатастрофизме / Н. С. Шатский // Проблемы сов. геологии. – 1937. – № 7. – С. 532–551.

Шишкин М. А. Необратимость эволюции и факторы морфогенеза / М. А. Шишкин // Палеонтол. журн. – 1968. – № 3. – С. 3–11.

Экостратиграфия. Теория и методы / В. А. Красилов [и др.]. – Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1985. – 148 с.

Юдович Я. Э. Региональная геохимия осадочных толщ / Я. Э. Юдович. – Л. : Наука, 1981. – 278 с.

Яблоков А. В. Эволюционное учение : учеб. для биол. спец. вузов / А. В. Яблоков, А. Г. Юсуфов. – М. : Высш. школа, 2006. – 310 с.

Яблоков В. С. Перерывы в морском осадконакоплении и палеореки (в рифее – палеозое Русской платформы) / В. С. Яблоков // Тр. ГИН АН СССР. – М., 1973. – Вып. 248. – 215 с.

Berggren W. et al. A revised Cenozoic geochronology and chronostratigraphy // Geochronology time scales and global stratigraphic correlation / W. A. Berggren // SERM Spec. Publ., 1995. – № 54. – P. 129–212.

Grabau A. W. Principles of stratigraphy / A. W. Grabau. – New York, 1932. – 1185 p.

Günther R. Anura / R. Günther // Lurche und Kriechtiere Europas. – Leipzig, 1985. – S. 113–184.

Kauffman E. High-resolution event stratigraphy regional and global Cretaceous bio-events. Global bio-events. A critical approach / E. Kauffman // Lect. Notes Earth Sci. – 1986. – V. 8. – P. 279–335.

Newell N. D. Paraconformites. Essay in paleontology and stratigraphy / N. D. Newell. – Univ. Kansas Press, 1967. – P. 349–367.

Vail P. R. Seismic stratigraphy and global changes of sea level / P. R. Vail [et al.] // Seismic stratigraphy – applications to hydrocarbon exploration. – 1977. – № 26. – P. 49–212.

Vail P. R. Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy: Part 1: seismic stratigraphy interpretation procedure / P. R. Vail // Atlas of seismic stratigraphy. – Vol. 1. – № 27. – 1987. – P. 1–10.

Учебное издание

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И МЕТОДЫ СТРАТИГРАФИИ

Учебно-методическое пособие для вузов

Составители:

Холмовой Геннадий Васильевич,
Ратников Вячеслав Юрьевич,
Шпуль Вера Григорьевна

Редактор А.Ю. Котлярова

Подписано в печать 23.01.09. Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 8,95.
Тираж 80 экз. Заказ 1999.

Издательско-полиграфический центр
Воронежского государственного университета.
394000, г. Воронеж, пл. им. Ленина, 10. Тел. 208-298, 598-026 (факс)
<http://www.ppc.vsu.ru>; e-mail: pp_center@ppc.vsu.ru

Отпечатано в типографии Издательско-полиграфического центра
Воронежского государственного университета.
394000, г. Воронеж, ул. Пушкинская, 3. Тел. 204-133