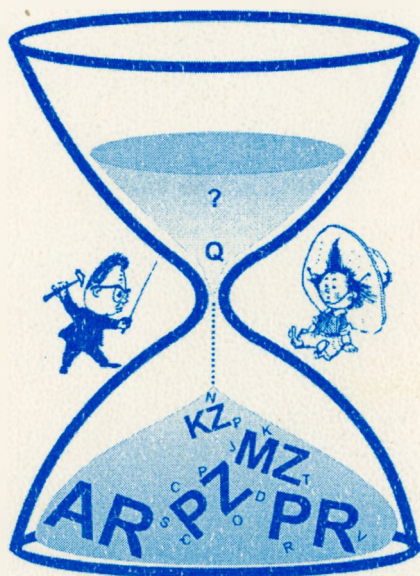


С. В. Лыуров

ОСНОВЫ СТРАТИГРАФИИ



УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

С. В. Лыуров

ОСНОВЫ СТРАТИГРАФИИ

Учебное пособие

Допущено УМО по классическому университетскому
образованию в качестве учебного пособия для студентов вузов,
обучающихся по направлению 511000 Геология
и специальности 011100 Геология

УДК 551.7 (075)
ББК 26.33
Л 88

Печатается по постановлению редакционно-издательского совета Сыктывкарского университета.

Рецензенты: **А. И. Антошкина** — доктор геол.-мин. наук, профессор, Институт геологии Коми НЦ УрО РАН; **В. А. Прозоровский** — доктор геол.-мин. наук, профессор, СПбГУ.

Лыюров С. В.

Л 88 Основы стратиграфии: Учебное пособие. Сыктывкар: Изд-во СыктГУ. 2004. 236 с.
ISBN 5-87237-435-6

Стратиграфия — раздел геологии, изучающий временные и пространственные соотношения горных пород, — является основой всех геологических построений. Данное учебное пособие рассматривает основные понятия этой дисциплины. Это только вводный курс по теоретическим и практическим основам стратиграфии, ее методам и вопросам их применения при геологических исследованиях. В его основу положены учебные пособия, практические руководства, методические рекомендации и научные публикации по стратиграфической теории и практике.

УДК 551.7 (075)
ББК 26.33

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке
гранта РФФИ 02-05-65042.

ISBN 5-87237-435-6

© Лыюров С. В., 2004.
© Сыктывкарский университет, 2004.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава 1. ПРЕДМЕТ СТРАТИГРАФИИ	5
1.1. Основные операции стратиграфии	7
1.2. Задачи стратиграфии	8
Глава 2. ИСТОРИЯ НАУКИ	10
2.1. Зарождение науки	10
2.2. Становление стратиграфии	10
2.3. Возникновение биостратиграфии	12
2.4. Развитие стратиграфии в период победы эволюционизма	15
2.5. Развитие стратиграфии на современном этапе	17
Глава 3. ПРИНЦИПЫ СТРАТИГРАФИИ	20
3.1. Принцип неполноты стратиграфической и палеонтологической летописи (принцип Ч. Дарвина)	21
3.2. Принцип необратимости геологической и биологической эволюции (закон Дарвина)	23
3.3. Принцип объективной реальности и неповторимости стратиграфических подразделений (принцип Халфина—Степанова)	24
3.4. Принцип последовательности образования геологических тел (принцип Н. Стенона)	25
3.5. Принцип возрастной миграции граничных поверхностей супракрустальных геологических тел (принцип Н.А.Головкинского)	26
3.6. Принцип фациальной дифференциации одновозрастных отложений (принцип А. Грессли—Е. Реневье)	27
3.7. Принцип биостратиграфического расчленения и корреляции (принцип В. Смита)	30
3.8. Принцип Гексли (принцип сопоставления одинаковых последовательностей)	32
3.9. Принцип палеонтологической сукцессии (принцип Ж. Сулави—В. Смита)	33
3.10. Принцип выбора хронологически взаимозаменяемых признаков (принцип С. В. Мейена)	34
Глава 4. ВРЕМЯ В СТРАТИГРАФИИ	37
4.1. Хронология, хронометрия, одновременность	39
4.2. Хронология (время-последовательность)	40
4.3. Хронометрия (время—длительность)	41
4.4. Одновременность	42
Глава 5. ОБЩАЯ СТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ ШКАЛА	44
5.1. Основные стратиграфические подразделения	49
5.2. Создание и оформление международной стратиграфической шкалы (II—VIII сессии МГК)	53
5.3. Дальнейшее развитие взглядов на международную стратиграфическую шкалу	56

Глава 6. КЛАССИФИКАЦИЯ И НОМЕНКЛАТУРА СТРАТИГРАФИЧЕСКИХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ. СТРАТИГРАФИЧЕСКИЙ КОДЕКС	59
6.1. Стратиграфическая классификация	59
6.2. Общие стратиграфические подразделения	61
6.3. Региональные стратиграфические подразделения	64
6.4. Местные стратиграфические подразделения	66
6.5. Литостратиграфические подразделения	70
6.6. Стратиграфический кодекс	72
Глава 7. СТРАТИГРАФИЧЕСКИЕ СХЕМЫ. ПОРЯДОК ВЫДЕЛЕНИЯ СТРАТИГРАФИЧЕСКИХ ЕДИНИЦ И ИХ НОМЕНКЛАТУРА	74
7.1. Типы стратиграфических схем	74
7.2. Порядок установления новых стратиграфических подразделений	77
7.3. Стратотип	79
7.4. Лимитотип	82
7.5. Названия стратиграфических подразделений	83
7.6. Принцип приоритета и ревизия объема стратиграфических подразделений	84
Глава 8. МЕТОДЫ РАСЧЛЕНЕНИЯ И КОРРЕЛЯЦИИ ОТЛОЖЕНИЙ	86
8.1. Биостратиграфия (палеонтологический метод)	87
8.2. Литостратиграфия (литологический метод)	122
8.3. Геологические методы оценки относительного возраста	133
8.4. Геохимический метод	134
8.5. Климатостратиграфия (климатостратиграфический метод)	135
8.6. Тектоностратиграфия (диастрофические методы)	140
8.7. Событийная стратиграфия	143
8.8. Магнитостратиграфия (палеомагнитный метод)	148
8.9. Сейсмостратиграфия	165
8.10. ГИС — геофизические исследования скважин	177
8.11. Секвентная стратиграфия (sequence stratigraphy)	194
Глава 9. ГЕОХРОНОМЕТРИЯ	210
9.1. Калий-аргоновый (калий-кальциевый) метод	214
9.2. Рубидий-стронциевый метод	215
9.3. Уран-торий-свинцовый метод	216
9.4. Вычисление возраста по изотопному составу обычного свинца ..	218
9.5. Радиоуглеродный метод	219
9.6. Самарий-неодимовый метод	219
9.7. Рений-осмиевый метод	220
9.8. Геохронологическая (геохронометрическая) шкала	221
Глава 10. СТРУКТУРА И ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ СТРАТИГРАФИИ	223
10.1. Две главные концепции современной стратиграфии	223
10.2. Практическое значение стратиграфии	225
10.3. Стратиграфическая основа	226
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	229
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	232

Глава 1. ПРЕДМЕТ СТРАТИГРАФИИ

Стратиграфия — одно из старейших «классических» направлений геологического исследования. Она имеет широкую область практического применения, обеспечивает работой и занимает умы значительного числа геологов. В то же время, ее теоретическая база, содержание и задачи как самостоятельной геологической дисциплины все еще являются объектом бурных дискуссий и споров.

Стратиграфия является основой, краеугольным камнем и своего рода «философией» геологии. С нее начинается и заканчивается познание геологического строения и развития любой исследуемой территории. Без данных стратиграфии нельзя обойтись практически ни в одной области геологии. Эти данные используются при составлении геологических, тектонических, литолого-фациальных и палеогеографических карт любого масштаба. Они незаменимы при прогнозировании, поисках и разведке месторождений полезных ископаемых различного происхождения.

Историю развития земной коры и геосфер можно изучать только тогда, когда установлена последовательность образования горных пород и определен их геологический возраст. Палеонтология оказывает неоценимую помощь в определении относительного возраста осадочных горных пород. Возраст магматических и метаморфических пород устанавливается по соотношению их с осадочными образованиями, заключающими остатки ископаемых организмов. Абсолютный возраст магматических, метаморфических и некоторых осадочных пород определяется с помощью изотопной геохронометрии. В процессе исследования геологических тел геологи расчленяют их на отдельные слои, пачки, горизонты, определяют относительный и абсолютный возраст выделенных стратонов, проводят корреляцию, т. е. сопоставление выделенных слоев с одновозрастными, но располагающимися на некотором расстоянии толщами. Все эти исследования проводятся в рамках стратиграфии.

В геологической литературе существуют многочисленные формулировки, определяющие предмет и задачи стратиграфии. По мнению Д. Л. Степанова и М. С. Месежникова, *«Стратиграфия — геологическая дисциплина, изучающая пространственно-временные соотношения нормально пластующихся осадочных, метаморфических, вулканогенных пород земной коры»*.

Иными словами, *«стратиграфия изучает пространственно-временные отношения пластов горных пород (или просто геологических тел) в земной коре, а сами по себе свойства горных пород, нас не интересуют, если они ничего не говорят о пространственно-временных отношениях. Все свойства пород стратиграфия преломляет через призму их пространственно-временных отношений»*.

Есть и другие определения — «*стратиграфия — это изучение естественной упорядоченности слоев земной коры*».

Стратиграфическая теория — историческое объяснение этого явления (иначе — развивающаяся система гипотез о происхождении и причинах естественной упорядоченности слоев).

Само название происходит от латинского слова *stratum* — пласт (слой) и греческого *γραφω* (*grapho*) — пишу, т. е. буквально переводится как «описание пластов», или «слоеописание».

Большинство исследователей считают объектом стратиграфии стратиграфическое подразделение — стратон.

СТРАТОН — это геологическое тело, представляющее собой статическую палеосистему, образованную в результате взаимодействия разнородных процессов на протяжении некоторого промежутка времени, занимающую определенное положение в стратиграфическом разрезе и обладающую единством характеристик, отличающих ее от смежных стратонов как ниже- и вышележащих, так и расположенных по латерали.

Фактической основой стратиграфических исследований служат конкретные геологические объекты — естественные или искусственные обнажения горных пород и керн скважин, а также определяемые геофизическими методами (электро-, сейсмо- и другой каротаж) изменения физических свойств горных пород в скважинах.

Основным результатом стратиграфического изучения всегда является та или другая «стратиграфическая схема», или «сводная стратиграфическая колонка», т. е. схема классификации изучающихся «слов» с исторической точки зрения.

Стратиграфия играет важнейшую роль при геологических исследованиях. Без нее невозможно проводить геологическое картирование, решать проблемы эволюции органического мира, геологического развития отдельных регионов и Земли в целом, реконструировать палеогеографические обстановки. Без детальных стратиграфических исследований невозможно раскрывать сложное строение структур земной коры и проводить поиски и разведку полезных ископаемых.

Основой для выделения геохронологических и хроностратиграфических единиц служат следующие критерии, тесно связанные между собой:

- этапность в ходе эволюции органического мира;
- периодическая изменчивость процессов осадконакопления и денудации;
- палеогеографические критерии (изменение распределения морских бассейнов и особенностей рельефа суши и дна моря, климата, смена ландшафтных обстановок и т. д.);

- степень активности и характер проявления магматической деятельности и процессов метаморфизма;
- проявление крупных тектонических движений и деформаций.

1.1. Основные операции стратиграфии

Стратиграфия включает в себя две основные операции: стратиграфическое расчленение и стратиграфическую параллелизацию.

Стратиграфическое **расчленение** — это выделение в конкретном разрезе отдельных слоев и толщ по определенным признакам (обычно литологическим) и выяснение последовательности их залегания. Под конкретным разрезом подразумевается скважина, горная выработка или естественный выход отложений (обнажение). Часто конкретный разрез суммируется (строится или надстраивается) по ряду близко расположенных обнажений или скважин, дополняющих друг друга.

Стратиграфическое расчленение можно разделить на 3 этапа:

- изучение и описание отдельных геологических объектов — обнажений или скважин;
- стратиграфическая систематизация пластов, т.е. определение последовательности их образования (формирования) и составление конкретного (сводного) разреза;
- стратиграфическая классификация или объединение слоев в стратона (стратиграфические подразделения).

Стратиграфическая **параллелизация** — это сопоставление (увязка) и установление временных (возрастных) отношений частей разрезов, более или менее удаленных друг от друга. Возрастные соотношения между членами удаленных разрезов могут быть раньше, позже, одного возраста. Конечной целью параллелизации является синхронизация, т. е. выявление геологически одновозрастных слоев и толщ в сопоставляемых разрезах.

Одной из основных особенностей стратиграфической параллелизации является ее повторяемость на разных этапах стратиграфических исследований.

На ограниченных территориях стратиграфическая увязка может быть проведена методами непосредственного прослеживания слоев, что возможно в условиях хорошей обнаженности (или при непосредственной близости скважин).

Если увязка прямыми методами геологического картирования невозможна, пользуются косвенными методами, тогда это называется **корреляцией**. Стратиграфическая корреляция может быть местной (для нескольких конкретных разрезов в одном районе), региональной (для целого региона, бассейна), межрегиональной. Наконец, существует глобальная корреляция, а также сопоставление с подразделениями об-

щей стратиграфической шкалы¹. Эта специфическая корреляция называется **датировка**.

Обе эти стратиграфические операции тесно связаны между собой и составляют два этапа стратиграфического исследования.

1.2. Задачи стратиграфии

Общей задачей стратиграфии является разработка, совершенствование и детализация общей стратиграфической и геохронологической шкал, необходимых для датировки геологических событий, и естественная периодизация геологической истории.

Общая стратиграфическая шкала представляет собой совокупность общих стратиграфических (хроностратиграфических) подразделений, таких, как акротема, зонотема, эратема, система, отдел, ярус, зона и т. д. (в их полных объемах, без пропусков и перекрытий), расположенных в порядке их стратиграфической последовательности и таксономической² подчиненности.

Общая геохронологическая шкала, или шкала геологического времени, состоит из датированных в годах эквивалентов общих стратиграфических подразделений, таких, как акрон, зон, эра, период, эпоха, век, фаза и т. д., выделение которых основано на изучении последовательности горных пород. Она объединяет два типа шкал: собственно *геохронологическую, или шкалу относительного геологического времени*, которая многими геологами в настоящее время представляется как шкала последовательности горных пород со стандартизированными точками, выбранными в стратотипах границ — разрезах, максимально полных в пограничных частях, и *геохронометрическую, или шкалу абсолютного геологического времени*, основанную на единицах продолжительности — годах. Более подробно остановимся на этом позднее.

Функции этих шкал — создать основу для сравнения возрастов. Они позволяют сократить количество способов, с помощью которых может

¹ Шкала стратиграфическая — общая (планетарная) шкала, объединяющая все стратиграфические единицы, которые постоянно (т. е. в течение всех периодов) являются общими для всего земного шара или, по крайней мере для большинства современных континентов. Критериями установления таких единиц служат явления периодичности и необратимости (т. е. этапности) развития земной коры и органического мира, запечатленные в г. п. К этой шкале относятся группы (сейчас общепринято — эратема), системы, отделы, нередко ярусы и иногда зоны либо только группы, системы и отделы (если все ярусы и зоны рассматриваются как подразделения провинциальной шкалы).

² Таксон [τάξις (таксис) — порядок, ряд] — группа объектов любого иерархического уровня, выделяемая при некоторых заданных критериях (напр., тип, класс, род, вид и др.).

быть выражен геологический возраст, до двух: числового и словесного. Причем эти способы не являются взаимозаменяемыми, и поэтому необходимы оба.

Существуют также более частные задачи, возникающие на определенных стадиях геологических исследований, такие, как:

- расчленение разрезов и выделение стратиграфических подразделений (стратонов) с целью создания местных и региональных стратиграфических схем (шкал), отражающих ход геологического развития данной территории. Решение этой задачи обеспечивает стратиграфической основой крупномасштабную геологическую съемку, а также поиски и разведку месторождений полезных ископаемых;

- проведение межрегиональной корреляции стратиграфических подразделений (стратонов) различных рангов, обеспечивающей составление геологических карт среднего и мелкого масштабов, палеогеографических и прогнозных карт нескольких регионов;

- совершенствование общей стратиграфической и геохронологической шкалы как шкалы, не имеющей временных пробелов, присущих всем региональным шкалам. Это направление стратиграфических исследований дает основу для историко-геологических обобщений планетарного масштаба.

Другими словами, типовыми задачами стратиграфии являются выделение стратонов, создание региональных схем их первичных пространственно-временных отношений и моделирование первичной структуры геологического пространства-времени в планетарном масштабе.

Вопросы к главе 1

1. Что изучает стратиграфия?
2. Что такое стратон?
3. Чем представлен фактический материал стратиграфических исследований?
4. В чем различие между корреляцией и датировкой?

Глава 2. ИСТОРИЯ НАУКИ

2.1. Зарождение науки

Первым стратиграфическим исследованием считается описание разрезов Тосканы (Северная Италия) датским натуралистом Н. Стеноном. Оно опубликовано в виде тезисов в 1669 г. под заглавием «О твердом естественно содержащемся в твердом». В этом сочинении впервые четко формулируется ряд основных принципов стратиграфии и устанавливается, что последовательность залегания слоев в вертикальном разрезе отвечает исторической последовательности их образования:

- Слои Земли — результат осаджения в воде.
- Слои, заключающий обломки другого слоя, образовался после него.
- Всякий слой отложился позднее слоя, на котором залегает.
- Слои, содержащий морские раковины или морскую соль, образовался в море; если он содержит растения, он произошел от речного паводка или появления притока вод.
- Слои должны иметь неопределенную протяженность и его можно проследивать поперек какой-либо долины.
- Слои отлагались вначале горизонтально; если он наклонен, то он испытал какой-либо переворот. Если другой слой залегает на наклонных слоях, то этот переворот произошел ранее отложения этого второго слоя.

Н. Стенон сформулировал основополагающий принцип, являющийся аксиомой стратиграфии, — «*в нормально залегающих осадках покрывающий слой всегда моложе подстилающего*». Н. Стенон подразделил горные породы окрестностей Тосканы на вулканические и осадочные. Среди последних он выделил слои, сформировавшиеся до появления организмов, и более молодые — с ископаемыми органическими остатками. В осадочных образованиях по характеру заключенных в них окаменелостей Н. Стенон различал слои морского и континентального происхождения.

В сущности, он же впервые применил палеонтологический метод в геологии (стратиграфии), хотя фактически еще такой науки не существовало.

2.2. Становление стратиграфии

В 1760 г. Дж. Ардуино сделал первую попытку возрастной классификации слоев в Северной Италии (Северные Апеннины и Южные Альпы), где выделил три комплекса отложений — первичные, вторичные и третичные (примерно соответствующие палеозою, мезозою и кайнозою).

В 1756 г. появилась работа немецкого ученого И. Г. Лемана «Опыт восстановления истории флещевых гор», в которой была сделана первая попытка приложения принципа последовательности напластования и литологических особенностей отложений к стратиграфическому расчленению конкретных разрезов. И. Г. Леман разделял горные породы на две основные группы: жильные, существующие «от сотворения мира», и флещевые, или слоистые, образовавшиеся в водной среде в результате всемирного потопа. Кроме того, И. Г. Леман выделял рыхлые породы, образовавшиеся после потопа в результате местных явлений (землетресений, вулканических извержений и наводнений).

Важным вкладом в становлении стратиграфии как науки было создание стратиграфической схемы Тюрингии и воссоздание истории Тюрингских гор (Германия) в 1762 г. Георгом Христианом Фюкселем («История земли и моря»). Он расчленил отложения (разрез) на девять толщ по литологическим и «палеонтологическим» признакам и сделал вывод о том, что последовательную смену этих слоев в разрезе можно объяснить многократными наводнениями, происходящими в древние времена.

По его мнению, формирование мощных слоев горных пород, залегающих один на другом, требовало длительного времени. Он также впервые применил параллельную классификацию отложений и времени их образования. Каждой из выделенных толщ (серии, статуму) в этой классификации соответствовал отрезок времени (секула, луструм). Г. Х. Фюксель также впервые применил понятие «*формации*³» как комплекса слоев, образовавшихся в одинаковых условиях в течение одного из этапов развития планеты Земля. На основе разработанной им стратиграфической схемы Г. Х. Фюксель составил геологическую карту.

Следующим шагом в развитии стратиграфии явилась шкала последовательности напластований земной коры А. Г. Вернера, разработанная им в конце XVIII в. на основе обобщения опыта И. Г. Лемана и Г. Х. Фюкселя. В основу шкалы были положены концепция непутизма, условия залегания отдельных толщ и их соотношения.

Долгое время, вплоть до начала XIX в., стратиграфическое направление геологических исследований охватывало в одинаковой мере все толщи горных пород земной коры; ведущая же роль осадочных (слоистых) горных пород в подобном исследовании не сразу обратила на себя внимание естествоиспытателей. Поэтому в начальный этап своего развития стратиграфическое направление исследования (науки как тако-

³ Формации это сообщества геол. тел (слоев и т. д.), объединяемые в парагенетическом, генетическом, стратиграфическом или каком-либо ином отношении.

вой еще не существовало) не связывалось с преимущественным изучением слоистых пород.

К концу этого этапа сложилось представление не о «слое», а о «формации» как основной единице «стратиграфической» классификации. Понятие же формации относилось в равной мере как к слоистым, так и к неслоистым минеральным массам земной коры.

Таким образом, на рубеже XVIII—XIX вв. в геологии уже были разработаны методы расчленения разреза по «литологическим признакам». Несмотря на различное толкование причин изменения вещественного состава слоистых горных пород и содержащихся в них окаменелостей (от библейского всемирного потопа до примата эндогенных или экзогенных сил), было уже очевидным, что последовательность слоев в разрезе является результатом процессов формирования того или иного участка земной коры⁴.

Было введено представление «о грандиозности» масштабов времени геологической истории Земли.

2.3. Возникновение биостратиграфии

Биостратиграфия — стратиграфия на палеонтологической основе, или на основе палеонтологического метода. Палеонтологический метод зародился в конце XVIII — начале XIX вв. Примечательно, что возникновение биостратиграфии, или использование палеонтологического метода в стратиграфии, предшествовало возникновению самой палеонтологии.

Впервые термин «биостратиграфия» был введен в литературу бельгийским палеонтологом Луи Долло в 1909 г. В своей книге «Этологическая палеонтология» он предложил различать собственно палеонтологию от стратиграфической палеонтологии, которую он назвал «*биостратиграфией*».

Первым был аббат Жиро Сулави. Он на материале Южной Франции описал последовательность слоев известняка с ископаемой фауной. Он выделил 5 эпох по фауне и флоре, из чего сделал вывод о том, что последовательность эпох господства различных комплексов ископаемых животных согласуется с последовательностью залегания и относительным возрастом соответствующих слоев.

Более узкое содержание стратиграфия получила с начала XIX в., когда геологи (с этого же времени в естествознании укореняется тер-

⁴ В настоящее время существует мнение, что роль М. В. Ломоносова в геологии весьма преувеличена, а его знаменитая работа «О слоях земных» есть не что иное, как переработанный конспект лекций, прослушанных им за время учебы в Германии.

мин «геология» в его современном значении) увидели и поняли то огромное, исключительное значение, которое имеют для историко-геологических построений слоистые осадочные породы и заключенные в них остатки ископаемых организмов.

В этом заслуга Вильяма Смита — основоположника современного (т. е. основанного на стратиграфическом принципе выделения картируемых единиц) геологического картирования, установившего приуроченность определенных форм ископаемых к определенным слоям и показавшего тем самым возможность распознавания и прослеживания слоев по заключенным в них органическим остаткам. В 1799 г. он издал таблицу последовательности напластований и заключенных в них остатков организмов на материале из окрестностей Бата. В 1815 г. выходит построенная им геологическая карта Англии, Уэльса и части Шотландии — первая карта, где различным цветом были показаны породы разного возраста. Эта карта была создана на основе разработанной им стратиграфической схемы. Смит выпустил также две работы, которые легли в основу биостратиграфии — «Слои, устанавливаемые по ископаемым органическим остаткам» и «Стратиграфическая система ископаемых органических остатков». На основе этих работ был сформулирован принцип биостратиграфического расчленения и корреляции, названный его именем.

А. Броньяр и Ж. Кювье (автор теории катастроф) примерно в то же время занимались тем же самым во Франции, успешно применив палеонтологический метод для расчленения и корреляции осадочных отложений окрестностей Парижа (Парижского бассейна).

По чередованиям слоев с окаменелостями и без них, по «особенностям» комплексов органических остатков Ж. Кювье и А. Броньяр воссоздали этапы геологического развития Парижского «осадочного» бассейна — последовательные смены морских условий осадконакопления континентальными, а также условия обитания ископаемых организмов. Таким образом, они продемонстрировали возможности стратиграфии как базиса исторической геологии.

Применение палеонтологического метода способствовало быстрому росту стратиграфических исследований в первой половине XIX в. и привело к созданию главным образом на материале Западной Европы международной стратиграфической шкалы (МСШ), которая в значительной мере была сначала стратиграфической шкалой Западной Европы.

В 1818 г. Б. Бакленд предложил новую классификацию стратиграфических подразделений. В значительной степени используя терминологию Карла Линнея, разработанную для царства животных, Б. Бакленд выделял классы (по современной терминологии — группы), порядки (ныне системы), формации и слои.

Первый вариант этой шкалы был представлен в 1822 г. Конибиром и Филлипсом, из нее к настоящему времени сохранились только карбон и мел. За последующие два десятилетия были установлены почти все подразделения будущей МСШ (табл. 1).

Таблица 1

История установления систем фанерозоя

Год	Система	Страна, в которой установлена	Автор
1760	Третичная	Италия	П. Ардуино
1795	Юрская	Швейцария	А. фон Гумбольдт
1822	Меловая	Франция	О. д'Аллау
1822	Каменноугольная	Англия	В. Конибир и В. Филлипс
1829	Четвертичная	Франция	Ж. Денуайе
1834	Триасовая	Германия	Ф. фон Альберти
1835	Кембрийская	Англия	А. Седжвик
1835	Силурийская	Англия	Р. Мурчисон
1840	Девонская	Англия	Р. Мурчисон и А. Седжвик
1841	Пермская	Россия	Р. Мурчисон
1879	Ордовикская	Англия	Ч. Лапворт

Первоначально выделение основных подразделений происходило на основе литолого-формационного подхода и выяснения стратиграфических взаимоотношений методами геологического картирования. Роль палеонтологического метода была невелика, за счет этого возникали неизбежные ошибки. Лишь позднее использование палеонтологического метода обеспечило более надежную корреляцию.

Геологи уже давно отмечали, что каменная летопись истории земной коры по степени изученности разделяется на две неравные части. Более молодую часть земной коры С. Чедвик назвал фанерозойским («фанерос» по-гречески — очевидный, явный; «зоэ» — жизнь). К фанерозойскому зону⁵ относятся кайнозойская, мезозойская и палеозойская эры. Вторая, более древняя и более продолжительная часть геологической истории названа им криптозойским зоном, что означает период со скрытым развитием жизни. Он охватывает огромный интервал

⁵ [Лат. *авол* от греч. *αἰων* — длительный промежуток или период времени], геохронологическое подразделение (стратиграфический аналог — зонотема), объединяющее несколько эр.

времени, обозначенный как докембрий. В нашей стране он подразделяется на две эры — архей и протерозой.

Из додарвиновской плеяды палеонтологов следует отметить А. д'Орбины (предложившему в 1842 г. термин «ярус») и А. Опделя. Оба эти исследователя были последователями идей катастрофизма⁶ и креационизма⁷. Ж. Кювье, что, очевидно, только способствовало выделению наиболее дробных подразделений международной стратиграфической шкалы — ярусов и зон юры и мела на основе метода руководящих форм.

По представлениям д'Орбины, каждому ярусу соответствует строго определенный комплекс видов. Он неохотно допускал существование форм, распространение которых выходило за пределы яруса. Он выделил и зоны⁸ — подразделения, границы которых определяются распространением одного вида (или нескольких). Зоны д'Орбины часто соответствовали по объему ярусам (зона «*Belemnites ecutus* и *Ammonites bisulcatus*» = синемюрский ярус).

Развитие понятия зоны связано с именем А. Опделя. Зоны рассматривались им как наиболее дробные стратиграфические подразделения, которые могут быть прослежены на обширной территории, ярус понимался как сумма зон. Позже появился термин оппель-зона (соответствующая понятию «зона»).

Подводя итоги первого, додарвиновского, этапа развития стратиграфии, следует отметить главные его результаты.

- К концу рассмотренного этапа были заложены основы современной общей хроностратиграфической шкалы и установлены все системы фанерозоя.
- Очевидные преимущества биостратиграфического метода уже на этом этапе развития выдвинули его на первое место.

2.4. Развитие стратиграфии в период победы эволюционизма

Вторая половина XIX в. в связи с выходом в 1859 г. работы Ч. Дарвина «Происхождение видов» характеризуется возникновением и развитием идей эволюционизма, борьбой их с идеями катастрофизма и,

⁶ Учение, согласно которому геологическая история Земли состояла из ряда этапов спокойного развития и бурных катастроф (катаклизмов), изменявших лик Земли, в результате которых частично (Кювье) или полностью (д'Орбины) уничтожался весь существовавший ранее на Земле органический мир, а затем возникал новый.

⁷ [*Creatio* — творение, созидание] — идеалистическое представление о сотворении организмов высшей творческой силой.

⁸ Часть яруса, т. е. пятая единица единой стратиграфической шкалы. Это отл., характеризующиеся определенным комплексом видов животных или растений, не повторяющимся в ниже- или вышележащих отл.

наконец, победой эволюционизма на длительное время как в биологии, так и в геологии.

В 60—70-е гг. XIX в. существовало два принципиально разных подхода к выделению геологических систем. И каждый из них имел теоретическую основу. Согласно первому, геологические системы — это обособленные друг от друга естественными границами геологические тела. Согласно второму, геологические системы — это искусственные стратиграфические подразделения, результат членения земной коры по наиболее резкой смене руководящей фауны. Его теоретической базой являлась эволюционная теория Ч. Дарвина.

Справедливости ради следует отметить, что идеи катастрофизма — креационизма сослужили в стратиграфии неплохую службу. Едва ли было лучше, если бы стратиграфия возникла и становилась на ноги на фоне эволюционистских идей.

В области биостратиграфии идеи эволюционизма дали начало филогенетической группе палеонтологических методов, что расширило возможности их применения.

Из наших соотечественников последователями теории Ч. Дарвина следует назвать палеонтологов и стратиграфов — В. О. Ковалевского, А. П. Карпинского, Ф. Н. Чернышева, С. Н. Никитина и др.

Не менее важным вкладом в стратиграфию явилась разработка закономерностей процесса слоеобразования, в частности положения о неодновременности петрографически однородных слоев и их комплексов, выдвинутое в 1868 г. Н. А. Головкинским и получившее развитие в трудах А. А. Иностранцева и И. Вальтера.

Выдвинутое Н. А. Головкинским и А. А. Иностранцевым представление о закономерной связи фациальной изменчивости с колебательными движениями земной коры нашло свое подтверждение в исследованиях А. Рюто, создавшего концепцию осадочных циклов и обосновавшего возможность использовать цикличность осадкообразования для стратиграфического расчленения осадочных толщ.

Существенную роль в развитии стратиграфии в нашей стране в конце XIX в. сыграло создание государственной геологической службы в виде организованного в 1882 г. по инициативе Г. П. Гельмерсена, А. П. Карпинского и Ф. Н. Чернышева Геологического комитета. Перед ним была поставлена задача систематического изучения геологического строения России и составления общей геологической карты страны.

Одним из самых значительных событий конца позапрошлого столетия следует назвать принятие в 1881 г. на II сессии Международного геологического конгресса (МГК) в Болонье основных подразделений Международной стратиграфической шкалы (МСШ). Первый ее вариант под названием «геологический хронограф» был предложен Е. Реневье. Тогда же была принята единая стратиграфическая номенклатура.

Подводя итоги краткого обзора развития стратиграфии на протяжении второй половины XIX в., следует признать важнейшей чертой этого периода тенденцию к преодолению региональной ограниченности стратиграфических схем и стремление к созданию международной стратиграфической шкалы. Решению этой задачи были посвящены все первые 8 сессий Международного геологического конгресса. Однако в связи с тем, что стратиграфические исследования все еще ограничивались в основном территорией Европы, разработанная международная шкала явилась фактически лишь европейской или даже западноевропейской межрегиональной шкалой.

Окончательно МСШ была принята в 1900 г. на V сессии МГК в Париже.

2.5. Развитие стратиграфии на современном этапе

Достижения в области различных геологических дисциплин, особенно литологии и седиментологии, тектоники, геохимии, а также разработка точных методов в геологии, в частности геофизических, оказали большое влияние на стратиграфию. Это влияние сказалось в возникновении целого ряда новых и усовершенствовании ранее существовавших методов стратиграфического расчленения и корреляции. Прежде всего, претерпевает свое второе рождение старейший литолого-стратиграфический метод, которому отводится важнейшая роль при разработке местных и региональных схем. Широкое применение точных методов изучения вещественного состава осадочных толщ дало возможность разработки метода микропетрографической корреляции.

XX век характеризуется появлением и развитием, главным образом, непалеонтологических методов (тектоностратиграфического, ритмостратиграфического, геофизических методов, методов абсолютной геохронологии и др.). Продолжает развиваться и палеонтологический метод, превратившийся из метода «руководящих форм» в комплекс палеобиологических методов, решающих задачи разного масштаба — от местных до глобальных.

Развитие тектоники и учения о фазах тектогенеза обусловили развитие тектоностратиграфических методов. Наиболее широкое распространение получил метод использования в качестве границ стратиграфических подразделений различного типа несогласий, фиксирующих появление складкообразовательных и колебательных движений. Этот метод в сочетании с литолого-стратиграфическим и палеонтологическим методами имеет большое значение для выделения комплексов отложений, отвечающих естественным этапам геологического развития региона или осадочного бассейна.

Ритмостратиграфический метод расчленения и корреляции основан на изучении цикличности осадконакопления. Последнее обуслов-

Глава 3. ПРИНЦИПЫ СТРАТИГРАФИИ

Стратиграфия — это фундамент научной геологии, т. к. только в результате стратиграфических исследований получается та модель первичных пространственно-временных отношений феноменов геологической летописи, которая служит исходной базой для всех ретроспективных реконструкций. Стратиграфия связана с другими геологическими дисциплинами сложными информационными отношениями. С одной стороны, ряд принципов и эмпирических обобщений, лежащих в основе ретроспективных реконструкций практически всех геологических дисциплин, был сформулирован именно в процессе стратиграфических исследований. С другой — сама стратиграфия применяет ряд методов, опирающихся на достижения других геологических дисциплин (литологии, палеонтологии, тектоники, геофизики и пр.), используя полученные в их рамках обобщения.

Признание за стратиграфией статуса самостоятельной геологической дисциплины влечет за собой необходимость не только уточнения ее предмета, но и установление ее принципов¹⁰ и вытекающих из них методов исследования. Под принципами стратиграфии, как и любой научной дисциплины, понимаются наиболее общие основополагающие концепции, на которых базируются другие, более частные положения этой науки. Для стратиграфии, как и для геологии в целом, не всегда могут быть четко разграничены такие иерархически регламентированные понятия, как «закон», «научный принцип», «постулат¹¹», «правило» и тому подобное.

Существует мнение о том, что законы в геологии, возможно, неравнозначны законам точных наук. В точных науках зачастую выпадает фактор времени, а следовательно, историзм. Геология отражает реальный мир — действительность во всей сложности, многообразии и с закономерными, и со случайными отклонениями, которых иногда ни предвидеть, ни предугадать невозможно.

На протяжении последних четырех десятилетий предпринимались и предпринимаются попытки сформулировать основные принципы, а также законы и правила стратиграфии. Так, в работе К. В. Симакова (1997) их приводится более тридцати. Их обилие, по его мнению, отражает методологическую незрелость науки, специфику объекта изучения и одновременное влияние на стратиграфию различных общепознавательных идей и парадигм³.

¹⁰ Принцип — (*principium* (лат.) — основа, первоначало) — первоначало, руководящая идея, основное правило поведения.

¹¹ Постулат — (*postulatum* (лат.) — требуемое) — тоже, что и аксиома, т. е. бесспорная, не требующая доказательств истина.

¹² Парадигма (греч. — *paradigma*) — пример, образец. Образцовое для данной эпохи решение научной проблемы, дающее начало устойчивой научной традиции.

Этому вопросу посвящали работы наши соотечественники Л. Л. Халфин, Д. Л. Степанов, О. П. Фисуненко, В. А. Зубаков, В. Л. Егоян, В. Е. Савицкий, И. В. Круть, С. В. Мейен, А. М. Садыков, К. В. Симаков, М. С. Месяжников, А. И. Жамойда, В. А. Красилов и другие.

Из зарубежных авторов следует упомянуть К. Данбара и Дж. Роджерса, М. Уэллера, Г. Шенка, А. Шоу, Х. Хедберга, Т. Николова, О. Шиндевольфа и многих других.

Помимо собственно стратиграфических, определяющих специфику и самостоятельность стратиграфии, в ней нередко используются общегеологические принципы, применимые к различным наукам геологического ряда, а также общебиологические (учитывая тесную связь палеонтологии и стратиграфии).

3.1. Принцип неполноты стратиграфической и палеонтологической летописи (принцип Ч. Дарвина)

К числу важнейших общих положений стратиграфии должен быть отнесен *«принцип неполноты стратиграфической и палеонтологической летописи»*, обоснованный Ч. Дарвином в специальной главе «Происхождения видов». Ч. Дарвин впервые высказал мысль о том, что в геологических напластованиях запечатлена, вероятно, лишь меньшая часть геологической истории, а большая часть геологического времени приходится на перерывы. Эта мысль впоследствии получила подтверждение в трудах многих ученых, развивавших идею об «утраченных интервалах» геологической истории. При этом выяснилось, что наряду с крупными перерывами, которые фиксируются несогласиями, важная роль в неполноте геологической летописи принадлежит бесчисленным мелким перерывам, обусловленным пульсационным характером и прерывистостью самого процесса осадконакопления.

Учение об этих относительно кратковременных перерывах, но в сумме дающих огромный эффект, было разработано Дж. Бареллом [Barell], предложившим для них специальный термин «диаистемы».

Большой прогресс достигнут также в разработке учения о различных типах несогласий и их значений для стратиграфии. Особенно важным представляется выявившееся совсем недавно широкое распространение скрытых несогласий (*paraconformity*), устанавливаемых нередко лишь на основании палеонтологических данных, и недооценка которых неоднократно приводила к крупным ошибкам.

Учение Ч. Дарвина о неполноте геологической, точнее стратиграфической летописи, получило полное подтверждение в свете современных данных. Следует отметить, что с точки зрения «интерпретационной стратиграфии» перерывы и несогласия сами могут рассматри-

ваться в качестве документа исторической геологии, получающего то или иное истолкование. Поэтому, говоря о принципе неполноты стратиграфической летописи, последний следует понимать в том прямом смысле, который непосредственно вытекает из трактовки Ч. Дарвина.

Сущность его может быть выражена в следующей краткой формулировке: *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.*

Во избежание часто имеющих место недоразумений следует отметить, что проблема неполноты геологической (стратиграфической) летописи имеет два различных аспекта. Один, вытекающий из формулировки Ч. Дарвина о неполноте геологической летописи и подчеркивающий то обстоятельство, что значительная часть геологического времени не документирована соответствующими слоями и приходится на перерывы, был только что рассмотрен. Он может быть обозначен как положение о неполноте стратиграфической летописи.

Другой аспект — это положение Ч. Дарвина о «неадекватности» палеонтологической летописи (*inadequacy at the fossil record*). Оно говорит о том, что окаменелости, заключенные в геологических напластованиях, представляют лишь незначительный процент организмов, населявших Землю в прошлые геологические эпохи. Такая неполнота палеонтологической летописи не позволяет во многих случаях достаточно достоверно устанавливать истинное распространение во времени даже известных нам представителей древних животных и растений.

Сам Ч. Дарвин видел главное значение своего принципа неполноты геологической летописи в том, что он позволял ему дать рациональное объяснение редкости нахождения переходных форм между видами и связующих звеньев между высшими таксонами, которые должны были существовать в прошлые геологические эпохи в соответствии с положениями эволюционного учения.

Преодоление неполноты собственно геологической, точнее стратиграфической летописи со времен Ч. Дарвина до наших дней шло по линии расширения геологических исследований с распространением их не только на территории всех материков, но и на акватории шельфа, а в последнее время и на океаническое ложе. Это позволило установить ряд непрерывных разрезов для тех интервалов стратиграфической шкалы, которые в изученных во времена Ч. Дарвина классических областях Западной Европы характеризовались перерывами между отдельными системами фанерозоя. Более того, установлены разрезы, в которых верхний докембрий (рифей и венд) непрерывно переходят в нижний палеозой (эокембрий).

3.2. Принцип необратимости геологической и биологической эволюции (закон Дарвина)

Положение о необратимости эволюции земной коры и Земли в целом, так же, как и положение о необратимости эволюции органического мира, следует рассматривать как единый принцип, отражающий всеобщий диалектический закон развития — закон отрицания отрицания.

Конкретные суждения о необратимости биологической и геологической эволюции возникли первоначально на основе эмпирических обобщений. В биологии положение о необратимости эволюции было впервые высказано Ч. Дарвиным в главе XI «Происхождения видов», хотя чаще установление этой закономерности связывают с именем Л. Долло, сформулировавшего на основе эмпирического обобщения «закон необратимости эволюции»¹³.

Несколько позднее оформилась и утвердилась идея о необратимости эволюции Земли и ее геосфер, включая и литосферу. Академик Н. М. Страхов, рассматривая эволюцию типов литогенеза в ходе геологической истории, показал как необратимые черты этого процесса, так и явления повторяемости или периодичности в нем. Мысль о том, что *«развитие Земли идет посредством необратимых процессов»*, была высказана и обоснована Б. Н. Достоваловым. С большой убедительностью необратимость эволюции земной коры показана в работах В. М. Силицына, отметившего, что *«весь геологический опыт свидетельствует о едином поступательном процессе развития земной коры, отражающем исторические изменения термодинамического режима планеты»*. Все это свидетельствует о том, что геологические системы развиваются по линейному типу, и многопорядковая цикличность в их эволюции частично затушевывает необратимость развития.

Все сказанное дает основание к принятию в качестве единого принципа положения о необратимости геологической и биологической эволюции. Более отчетливое проявление необратимости в биологической эволюции по сравнению с развитием неорганического мира обусловлено большей сложностью строения организмов и условий их происхождения, что делает крайне маловероятным повторение их комбинаций на разных этапах геологической истории. Необратимость процессов развития в неорганическом мире обнаруживается значительно трудней, в силу чего она часто не учитывалась или должным образом не оценивалась. Однако в последнее время накапливается все больше данных о необратимых тенденциях в развитии неорганического мира.

¹³ «Правило Долло».

3.3. Принцип объективной реальности и неповторимости стратиграфических подразделений (принцип Халфина—Степанова)

Все стратиграфические подразделения (стратоны) фиксируют результаты различных геологических событий и объективно отражают суть этих событий. В стратиграфическом разрезе отдельные стратоны последовательно фиксируют очередность соответствующих событий во времени, т.е. отражают исторический процесс развития. Различия между региональными стратиграфическими подразделениями и стратонами общей шкалы заключаются в том, что первые отражают частные, локальные эпизоды, вторые синтезируют их в общепланетарную картину истории Земли.

Поэтому, по мнению Ю. В. Тесленко, нельзя противопоставлять общую стратиграфическую шкалу региональным шкалам, как нельзя противопоставлять общее частному. *«Время является субстанцией, связующей между собой хроностратиграфические и региональные единицы».*

Объективная реальность стратиграфических подразделений подчеркнута в книге «Стратиграфическая классификация, терминология и номенклатура», изданной в 1965 г. и утвержденной Межведомственным стратиграфическим комитетом в качестве обязательного положения для всех геологических организаций страны. В ней сказано следующее: *«Выделение стратиграфических подразделений должно быть лишено элементов субъективизма и случайности. Оно должно исходить не из принципа формального удобства или простой условности, а преследовать цель объективного раскрытия действительного хода геологической истории. Стратиграфические подразделения следует выделять так, чтобы они соответствовали реальным историческим этапам развития Земли в целом или отдельных ее регионов. Причем они должны базироваться на совокупности всех признаков, объективно отражающих этапы исторического хода развития Земли и своеобразие этих этапов в различных ее частях».* И далее: *«Таким образом, в стратиграфической шкале находят свое выражение результаты геологических процессов прошлого, которые происходили на различных естественных этапах развития литосферы».*

Так обстоит дело с положением об объективной реальности стратиграфических подразделений общей и региональных шкал. Что касается неповторимости стратонов, то хроностратиграфические подразделения общей шкалы неповторимы по времени, ибо неповторимы в своем развитии те условия, в которых они формировались, и те признаки, по которым они выделены. Точно так же региональные стратиг-

рафические подразделения неповторимы во времени (как составные части хроностратиграфических подразделений) и в пространстве, т. е. за пределами области их формирования, что обусловлено их местным происхождением.

Все сказанное позволяет предложить следующую краткую формулировку принципа объективной реальности и неповторимости стратиграфических подразделений. *Стратиграфические подразделения (стратонны), представляя реальный результат геологических событий, объективно отражают суть этих событий и не повторяются во времени и в пространстве.* Практический смысл этого принципа заключается в необходимости преодоления пользующейся распространением тенденции к субъективному подходу при установлении стратиграфических подразделений.

3.4. Принцип последовательности образования геологических тел (принцип Н. Стенона)

Этот принцип издавна фигурирует в геологической литературе как принцип или закон последовательности напластования, поскольку первоначальная формулировка этого постулата Н. Стеноном в его диссертации (1969 г.) была связана непосредственно с процессом слоеобразования. В дальнейшем, однако, было предложено расширить область применения принципа (закона) Н. Стенона, не ограничивая ее слоистыми осадочными толщами, и распространить этот принцип на последовательные образования геологических тел вообще, включая и интракрустальные¹⁴ породы. Основанием для этого явились высказывания Н. Стенона в других местах его сочинения, в которых он рассматривает взаимоотношения геологических тел, относящихся к категориям магматических и метаморфических образований.

Соответственно, прежняя формулировка этого принципа: *«При нарушенном залегании каждый нижележащий слой древнее покрывающего слоя»* должна быть заменена новой. В качестве замены Л. Л. Халфин предложил следующую: *«Относительный возраст двух контактирующих тел установленного генезиса с очевидностью определяется их первичными пространственными соотношениями».*

С. В. Мейен предлагает следующую формулировку принципа Н. Стенона, который он рассматривает в качестве одного из трех принимаемых им принципов стратиграфии: *«Временные (ударение на «ы») отношения раньше/позже между геологическими телами определяются их первичными пространственными отношениями и (или) генетическими связями».*

¹⁴ [intra — внутри].

3.5. Принцип возрастной миграции граничных поверхностей супракрустальных геологических тел (принцип Н.А.Головкинского)

В основе рассматриваемого принципа лежит положение о неодновременности образования литологически однородных слоев, которое было, впервые установлено в 1868 г. Н. А. Головкинским в результате исследований пермской формации Камско-Волжского бассейна. Разновозрастность различных частей одного и того же слоя он считал обусловленной самим механизмом слоеобразования при перемещении береговой линии бассейна седиментации. Как вывод из своих исследований Н. А. Головкинский указал, что *«должно внимательно различать понятия о хронологическом, стратиграфическом, петрографическом и палеонтологическом горизонтах»*. При этом, указывает он, *«хронологические горизонты косвенно пересекают все другие»*.

В трактовке А. Н. Гейслера этот вывод Н. А. Головкинского звучит следующим образом: *«Исходя из учения об образовании слоя, в каждом слое можно считать синхроничными только те осадки, которые отлагались вдоль существовавших в каждый данный момент определенных зон седиментации¹⁵, т. е. осадки, распределяющиеся в направлении, параллельном береговой линии»*.

Конечно, разновозрастность отдельного слоя часто практически не может быть установлена и, поэтому не всегда имеет существенное значение для стратиграфии. В этих случаях ею можно и пренебречь. Однако с разновозрастностью осадочных комплексов, состоящих из большого числа слоев, необходимо считаться.

Идеи Н. А. Головкинского не сразу получили признание, хотя целый ряд исследователей независимо от него приходили к аналогичным выводам. Так, И. Вальтер в своем «Введении в геологию как историческую науку» установил закономерность фациальных изменений в процессе слоеобразования, названную им *«закон согласования фаций»* (закон Вальтера).

Несколько особую позицию в отношении оценки принципа Н. А. Головкинского занимал С. В. Мейен, который отмечал, что разновозрастность литологических границ устанавливается палеонтологическими или иными собственно геологическими методами. В этом С. В. Мейен видит серьезную методическую ошибку, заключающуюся в том, что исследователи, принимающие «закон Головкинского», *«раз и навсегда сводят к минимуму вес литологических признаков»* и придают неиз-

¹⁵ Седиментация [*sedimentum* — осадок] — образование всех видов осадков в природных условиях путем перехода осадочного материала из подвижного или взвешенного состояния в неподвижное (осадок).

менно наивысший вес палеонтологическим признакам. С этим утверждением можно согласиться в том отношении, что весь опыт стратиграфических исследований подтверждает правильность положения о первостепенном значении палеонтологического метода при установлении и прослеживании возрастных границ. Но, конечно, это положение не следует абсолютизировать, сводя геохронологию к биохронологии.

С. В. Мейен справедливо указывал, что вполне мыслимы и действительно наблюдаются случаи, когда литологические границы являются хронологически изохронными, точнее, когда их диахронность не может быть установлена современными методами стратиграфии. В качестве примера он приводит изохронность цинеритовых горизонтов. Можно признать, что действительно в ряде случаев диахронность литологических границ не фиксируется палеонтологическими или какими-либо другими методами и что в практике стратиграфических исследований такие границы признаются изохронными. Однако не все согласны с категорическим утверждением С. В. Мейена, что *«достаточно одного такого случая, чтобы закон Головкинского» утратил статус и закона и принципа*. Впрочем, отрицая правомерность установления «закона Головкинского», С. В. Мейен признавал, что случаев, когда литологические признаки имеют невысокий вес, действительно много, и поэтому предлагал ввести эмпирическое *«правило Головкинского»*. Смысл последнего — предостеречь исследователей, склонных переоценивать литологическое единство как критерий хронологической одновременности.

В заключение приведем формулировку принципа Головкинского в трактовке Д. Л. Степанова: *«Граничные поверхности литостратиграфических подразделений не являются вполне изохронными¹⁶ на всем протяжении, причем градиент возрастной миграции этих поверхностей возрастает в направлении перпендикулярном береговой линии бассейна седиментации и уменьшается в направлении, параллельном последней»*.

3.6. Принцип фациальной дифференциации одновозрастных отложений (принцип А. Грессли—Е. Реневье)

Одним из важнейших принципов стратиграфии, восполняющим некоторую односторонность принципа В. Смита, чреватую существенными ошибками при излишне прямолинейном его использовании, является принцип фациальной дифференциации одновозрастных отложений. То обстоятельство, что геологически одновременные отложения могут быть в зависимости от условий их образования существен-

¹⁶ Изо...(греч. — *isos* — равный, одинаковый).

но разными как в отношении литологического состава, так и палеонтологической характеристики, значительно усложняет применение палеонтологического метода при установлении относительного их возраста. Недоучет фациальной изменчивости разновозрастных отложений часто являлся источником ошибочной датировки и корреляции. Поэтому есть все основания рассматривать концепцию фациальных изменений заслуживающей признания в качестве особого принципа, область применения которого, конечно, не ограничивается стратиграфией, а имеет значительно более широкое распространение. Разнофациальная природа разновозрастных толщ была впервые установлена А. Грессли в результате изучения юрских отложений Швейцарии. Впервые термин «фация» встречается в трудах А. Грессли. Вот авторская трактовка понятия «фация»:

«... в горизонтальном направлении каждая формация испытывает разнообразные хорошо выраженные латеральные изменения, которые характеризуются постоянными особенностями не только петрографического состава, но и палеонтологического характера комплексов ископаемых, изменения которых подчиняются определенным и мало изменчивым законам.

Прежде всего, имеется два главных фактора, повсеместно характеризующие совокупность изменений, которые я называю фациями или обликами формаций. Первый факт (I) заключается в том, что определенный петрографический характер формации дает основание уверенно предполагать повсеместно, там, где она распространена, что свойственный ей палеонтологический комплекс будет одним и тем же. Второй факт (II) заключается в том, что данный палеонтологический комплекс строго исключает присутствие родов и видов, изобилующих в других фациях.

... Я думаю, что изменения как петрографического, так и палеонтологического характера, которые можно наблюдать в горизонтальном распространении формации, обусловлены различием обстановок и других условий, которые и до настоящего времени оказывают такое решающее влияние на различные роды и виды, населяющие современные моря.

... Из изложенных выше фактов можно вывести закон о том, что каждая фация любой данной формации имеет очень отчетливую характеристику либо петрографическую и геологическую, либо палеонтологическую, являющиеся прямо противоположными особенностями, которые обычно предполагаются обязательно присущими формации, и особенностям других фаций того же геологического уровня.

Второй закон весьма близок к первому. Он гласит: фации одинакового петрографического и геологического характера имеют весьма сходные палеонтологические особенности в различных формаци-

ях и сменяют друг друга, даже пересекая более или менее многочисленные серии выше налегающих формаций».

Почти через полвека после А.Грессли другой швейцарский геолог Е. Реневье попытался уточнить понятие «фация». Он особо подчеркнул значение одновременности как существенного элемента концепции фациальности. Вот определение понятия фация, данное Е. Реневье:

«Термин фация обозначает любые различия, могущие иметь место между формациями одного и того же возраста. Эти различия могут проявляться либо в петрографическом составе, будучи обусловленными природой отлагавшихся осадков, либо в палеонтологических особенностях, вызванных прижизненными условиями ископаемых животных и растений.

Фации являются тогда определенными типами отложений, осадочных или иных, которые могли образоваться одновременно в каждый данный геологический момент так, как это имеет место в настоящее время. Можно говорить о различных фациях одной формации так же, как говорят о различных типах современных отложений».

Как видно из приведенных цитат, Е. Реневье, сохраняя первоначальный смысл концепции фациальности, вкладывавшийся в нее А. Грессли, уточнил и конкретизировал ее. Это позволяет рассматривать концепцию фациальной неоднородности разновозрастных отложений как один из ведущих принципов стратиграфии, который заслуживает обозначения как принцип Грессли—Реневье. Для характеристики этого принципа может быть предложена следующая формулировка: *«Одновозрастные отложения претерпевают в горизонтальном направлении фациальные изменения, обуславливающие существенные различия их литологического состава и палеонтологической характеристики».*

Значение этого принципа для стратиграфии заключается, прежде всего в том, что он предостерегает от излишней прямолинейности понимания принципа палеонтологической параллелизации В.Смита, выраженной в популярной формулировке: *«Отложения, содержащие одинаковую фауну или флору, геологически разновозрастны».* Более общее значение принципа фациальности заключается в том, что им «была поколеблена абсолютизация «горизонтального направления» геологического пространства». Оказалось, что состав примерно разновозрастного геологического тела — пласта, слоя, формации — изменяется и в горизонтальном направлении, и по вертикали. По существу, была установлена частная относительность геологического пространства и времени, согласно которой геологическое время является атрибутивным отношением и свойством геологических тел, но не функцией их состава, как это вытекало из вернерианской стратиграфии.

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

По признанию большинства историков геологии, биостратиграфия или, точнее, использование палеонтологического метода в стратиграфии ведет начало от исследований В. Смита, результаты которых были опубликованы в двух его основных сочинениях: «Слои, распознаваемые по органическим ископаемым» и «Стратиграфическая система органических ископаемых». В них изложен и принцип, лежащий в основе предложенного им метода. Краткость и не всегда достаточная четкость первоначальных формулировок В. Смита явились источником расхождений между отдельными исследователями при попытке их истолкования. Возникли и значительные противоречия в оценке В.Смита как биостратиграфа.

Вот как сформулировал сам В. Смит основы своего метода¹⁷. *«Мой метод распределения ископаемых соответственно слоям, их содержащим, уже давно был признан всеми, кому были сообщены мои первые открытия. Лица, знающие его, смогут при помощи этой работы внести значительное усовершенствование в своих коллекциях, которое им сейчас предлагается. В нем с наибольшей пользой сочетается послойное и систематическое распределение (ископаемых). Все местонахождения каждого вида в каждом слое перечислены в порядке последовательности их залегания, что показывает, как образцы ископаемых, будучи правильно размещены, могут использоваться для распознавания «слоев». Мой оригинальный метод прослеживания слоев при помощи органических ископаемых, заключенных в них, таким образом, доведен до степени простоты, делающей нетрудным его изучение. Со времени первого письменного отчета об этом открытии, который был разослан в 1799 г., он тщательно изучался моими научными коллегами в окрестностях Бата. Некоторые из них отыскивают выходы различных слоев в этом районе с такой уверенностью обнаружения в соответствующих горных породах характерных для них ископаемых, как если бы они находились на полках их коллекционных шкафов.*

Эта особая отрасль геологии (стратиграфия), уже доказала, что большая часть земной поверхности кишела живыми существами и что животные и растения, так хорошо сохранившиеся в твердых частях внутренности Земли, настолько существенно отличаются от ныне существующих, что они могут рассматриваться как новое творение или, скорее, как еще неоткрытая часть старого творе-

¹⁷ В книге «Стратиграфическая система органических ископаемых» [Smith, 1817].

ния. Они являются главным образом морскими (организмами), и поскольку они вообще отличаются от нынешних обитателей моря, то в отдельные периоды формирования Земли они также сильно отличались друг от друга, настолько, что каждый слой этих ископаемых органических тел должен рассматриваться как отдельный акт творения. Иначе, как Земля могла сформироваться *Stratum super Stratum* (слой над слоем), причем каждый из этих слоев содержит в изобилии различные расы животных и растений. Несомненно, что эти бесчисленные хорошо сохранившиеся органические ископаемые не являются результатами игры природы, помещенные туда для того, чтобы возбуждать праздное любопытство, но что они должны, как и другие произведения Великого Творца, иметь свое назначение. Шахтер давно распознавал, таким образом, положение своих отдельных выработок в шахтах, так почему же не должны делать то же самое, но более обстоятельно ученые, землевладельцы, рабочие в каменоломнях и каменотесы? В результате моих трудов установлен для этого метод, и поэтому распознавание слоев при помощи органических ископаемых становится одним из наиболее важных новейших открытий геологии. Оно дает возможность геологу отчетливо отличать один слой от другого не только на Британских островах, но также прослеживать их связь с теми же слоями на континенте. Таким образом, этот метод пригоден как для самого широкого, так и узко локального использования».

В этой же работе В. Смита имеется краткая формулировка его принципа, получившая наибольшую известность: «Сходные слои содержат сходные ископаемые» («*Similar strata contain similar fossils*»).

Эта краткая формулировка принципа В. Смита в интерпретации последующих авторов претерпевала подчас довольно значительную трансформацию. Наиболее точно передает первоначальный смысл краткого определения В. Смита формулировка, предложенная А. Н. Криштофовичем: «Отложения одинакового возраста содержат одинаковую фауну или флору». Приведя это определение, А. Н. Криштофович отметил, что «основной принцип стратиграфии... в самом своем существе ошибочен, если понимать это положение буквально».

Следует подчеркнуть, однако, что из формулировки В. Смита «сходные слои содержат сходные ископаемые» не ясно, вкладывал ли он в понятие «сходные слои» представление об их одновозрастности. Вероятно, поэтому некоторые авторы предпочитают более осторожное толкование принципа В. Смита как исходной концепции биостратиграфии. Между тем в приведенной выше цитате из сочинения В. Смита, содержащей развернутую характеристику сущности и оценку его метода, мы находим прямое указание на возможность использования его для корреляции отдаленных разрезов. Это позволило Д. Л. Степанову назвать

принцип В. Смита «*принципом биостратиграфического расчленения и корреляции*», предложив для него следующую формулировку: *отложения можно различать и сопоставлять по заключенным в них ископаемым*.

Не все авторы считают В. Смита основоположником биостратиграфии. К таковым относятся Г. П. Леонов, С. В. Мейен. К числу сторонников мнения о В. Смите как об основоположнике стратиграфии и, в частности биостратиграфии, относятся И. В. Круть, Ю. В. Тесленко, Т. Николов, Д. Л. Степанов и М. С. Месежников.

С. В. Мейен предлагал выделять принцип Гексли (Huxley)¹⁸, но этот принцип, по мнению Д. Л. Степанова и М. С. Месежникова, ничем не отличается от только что рассмотренного принципа В. Смита. Но так как принцип Гексли с подачи С. В. Мейена укоренился в научной и научно-методической литературе, остановим свое внимание и на нем.

3.8. Принцип Гексли (принцип сопоставления одинаковых последовательностей)

Перед нами два разреза с одинаковыми последовательностями отложений (мощность в данном конкретном примере никакой роли не играет).

D
C
B
A

D
C
B
A

Одинаковая последовательность называется *гомотаксальностью*¹⁹. Одинаковые последовательности очевидно можно сопоставить. А. Броньяр и др. одинаковую последовательность автоматически считали одновременностью. На самом деле в удаленных районах одинаковые последовательности (фаун) могут быть не строго одновременными (в пределах точности метода), т. е. гомотаксальными.

Одновременность нужно доказать. Внутри регионов это делают с помощью опорных горизонтов, являющихся разновидностью маркиру-

¹⁹ В настоящее время существует мнение о том, что принцип Смита есть частное проявление принципа Гексли и в литературе иногда фигурирует как принцип Смита—Гексли

²⁰ От греч. *homos* — равный, одинаковый и *taxis* — расположение по порядку.

ющих горизонтов. Опорные горизонты в масштабах геологического времени могут считаться изохронными (одновозрастными во всех своих точках). Примерами опорных горизонтов может быть слой вулканического пепла на ограниченной территории; базальный конгломерат, образовавшийся при внезапном вторжении моря (ингрессии).

А. И. Жамойда предлагает следующую формулировку: *«Стратиграфическая корреляция конкретных разрезов, если непосредственное прослеживание невозможно, осуществляется сопоставлением гомотаксальных, т. е. идентичных последовательностей сходных признаков, в том числе обстановок и событий прошлого».*

Таким образом, смысл принципа Гексли в том, что в двух разрезах одинаковые стратиграфические последовательности сопоставляются. По С. В. Мейену, сущность принципа Гексли состоит в том, что он *«устанавливает хронологические отношения пространственно разобщенных последовательностей геологических тел».*

3.9. Принцип палеонтологической сукцессии²⁰ (принцип Ж. Сулави—В. Смита)

В тесной связи с выше рассмотренным принципом В. Смита (иногда даже объединяемое с ним) находится положение о различии комплексов ископаемых разновозрастных отложений, последовательно сменяющих друг друга. В какой-то мере это положение действительно отражено в приведенных высказываниях В. Смита о формировании Земли слой за слоем и соответственно о многократных актах творения животных и растений, объясняющих различие комплексов окаменелостей различных слоев. Однако еще за два десятилетия до первого сообщения В. Смита о результатах его исследований на Британских островах во Франции в 1780 г. был опубликован текст доклада аббата Жиро Сулави «Естественная история Южной Франции», прочитанного им в 1779 г. в Королевской академии наук. Для целей стратиграфии главный интерес представляет глава VIII этого сочинения, основные выводы которой изложены Ж. Сулави в следующих словах.

«Залегание друг над другом различных известняковых толщ; их последовательное формирование под водами океана. Эпохи различных ископаемых соответствуют слоям, которые их содержат. Первый век: царство раковин (моллюсков), которые не живут сейчас. Второй век: царство предыдущих раковин (моллюсков) и некоторых других с подобными ныне живущим формам. Третий век: царство моллюсков, исключительно ныне живущих в наших морях. Четвертый век: царство рыб и

²⁰ От лат. *successio* — последовательность — закономерная смена биоценозов во времени, не связанная с эволюционными изменениями видов.

растений, известных ныне. Пятый век: окаменелые деревья, гравий, кости ископаемых животных и пр.». В заключение последующего рассмотрения палеонтологической характеристики первых трех из перечисленных «царств» говорится: «Мы видим теперь, что хронологический порядок этих трех различных царств согласуется с последовательностью залегания и сравнительным возрастом каждого слоя».

По мнению Г. Шенка, эти высказывания Ж. Сулави наводят на мысль о признании им того, что мы называем сейчас эволюцией органического мира. Во всяком случае, несомненно, что Ж. Сулави четко охарактеризовал последовательную смену в разрезе комплексов остатков организмов, соответствующих хронологической последовательности отдельных установленных им этапов развития («царств») органического мира. Ряд исследователей рассматривает концепцию Ж. Сулави в качестве фундаментального принципа или закона стратиграфии (закона палеонтологической сукцессии).

Поскольку В. Смит подошел в своих исследованиях к близким выводам, по-видимому, независимо от Ж. Сулави, можно справедливо обозначать принцип последовательной смены комплексов ископаемых, или палеонтологической сукцессии как принцип Ж. Сулави—В. Смита. Он, как уже отмечалось, тесно связан с основным принципом В. Смита и дополняет его более отчетливо выраженным историческим подходом к объяснению различий комплексов ископаемых из отложений, занимающих различное положение в разрезе.

В качестве краткого определения сути принципа палеонтологической сукцессии можно принять формулировку Дж. Энтони: *«Ископаемые фауны и флоры следуют друг за другом в определенном, могущем быть выясненном порядке»*.

3.10. Принцип выбора хронологически взаимозаменяемых признаков (принцип С. В. Мейена)

Очень часто в геологии приходится сопоставлять разнофациальные разрезы (морские, континентальные, лагунные). Их сопоставление представляет серьезные трудности в работе стратиграфов, т. к. ни один из признаков (последовательностей признаков) не может протягиваться на значительное (в масштабах земного шара) расстояние. Выход есть, и он заключается в выборе признаков, которые хронологически взаимозаменяют друг друга²¹.

²¹ Стратиграфы много говорят о комплексности, подразумевая под этим суммирование результатов, полученных различными методами по различным признакам (по нескольким группам биофоссилий, радиохронометрии, палеомагнитным данным). Если эти результаты противоречат друг другу, то традиционная

Сам автор принципа, названного позднее в его честь, не привел емкой формулировки этого принципа. Вот как он звучит в формулировке А. И. Жамойды: *«Различное, частично перекрывающееся площадное распространение и комплексирование стратиграфических признаков обеспечивают их хронологическую взаимозаменяемость, являющуюся основой внутри- и межрегиональной, вплоть до планетарной, корреляции по серии признаков наибольшего веса».*

Рассмотрим этот принцип на некоторых примерах.

Пример 1. В данном примере признаки С и F являются хронологически взаимозаменяемыми.

D		D
C		F
B		B
A		A

Более сложный пример.

1	2	3
MN	NO	OP
KL	LR	RQ
AB	BC	CD

Очевидно, что непосредственно сопоставить разрезы 1 и 3 невозможно (согласно принципа Гексли), т. к. между ними нет ничего общего. Сопоставление возможно при наличии переходного разреза 2, который содержит хронологически взаимозаменяемые признаки как 1-го, так и 3-го разреза.

теория не указывает какого-либо способа разрешения противоречий, кроме компромисса (если по моллюскам возраст сеноманский, а по иглокожим — сантонский, сойдемся на туроне). В стратиграфии все наличные признаки и весь арсенал методов привлекаются для выработки объяснительной стратиграфической гипотезы и ее проверки. Таким образом, комплексирование происходит вокруг каких-то идей, служащих стержнем исследования. Преимущество имеют те признаки, стратиграфические отношения которых легче всего поддаются объяснению в конкретной ситуации. Поэтому, наверно есть смысл ввести в обиход стратиграфии *принцип выбора из взаимоисключающих признаков* со следующей рабочей формулировкой: **в случае обнаружения признаков, взаимоисключающих друг друга, приоритет отдается тому из них, который менее противоречит сложившейся ситуации.**

На реальном геологическом примере это будет означать сопоставление морских и континентальных разрезов через отложения переходного (лагунного) типа.

I (морской)	II (лагунный)	III (континентальный)
Аммониты	Остракоды	Миоспоры
Остракоды	Миоспоры	Кости наземных животных

Вопросы к главе 3

1. Что такое диастема?
2. В чем сущность принципа Н. Стенона?
3. В чем основная заслуга В. Смита?
4. Что такое гомотаксальность?
5. Что такое сукцессия?

Глава 4. ВРЕМЯ В СТРАТИГРАФИИ

Проблема времени (пространства—времени) и его измерения в геологии, возможно, одна из самых запутанных и сложных, хотя по праву занимает в геологии, как и в любой исторической науке, центральное место. В связи с этим возникает потребность сравнения содержания понятий «геологическое время—пространство» как с содержанием общенаучных (философских) категорий времени и пространства, так и с их выражением в других специальных областях знаний. В стратиграфии **время**, как отмечают Д. Л. Степанов и М. С. Месежников, выступает в качестве основного организующего начала, т. к. все стратиграфические выводы имеют смысл лишь постольку, поскольку они решают вопрос об одновременности или последовательности геологических событий, приводящих к образованию или необразованию осадочных толщ. Поэтому неудивительно, что проблема времени уже более ста лет обсуждается стратиграфами и интерес к ней все более возрастает.

Определяя время геологического процесса главной целью стратиграфических исследований, необходимо остановиться на рассмотрении основных свойств этой характеристики геологического движения материи и методов ее изучения. Здесь следует уделить внимание общим представлениям о времени и главным принципам его исследования.

Современное общенаучное представление о времени и пространстве опирается, главным образом, на результаты исследований, полученных в физике.

Существует разное понимание времени. По И. Ньютону, время — абсолютно, протекает равномерно, не связано ни с пространством, ни с какими-либо процессами и иначе называется длительностью.

По Г. В. Лейбницу, время существует постольку, поскольку идет какой-то процесс. Измерение времени — это слежение за несколькими независимыми процессами, один из которых принимают как эталонный.

Релятивистская концепция времени связана с именем А. Эйнштейна. Он ввел понятие собственного, локального и универсального времени. Собственное время — это временные соотношения между событиями, происходящими только в данной системе отсчета, локальное время устанавливается в каждой движущейся системе, универсальное время представляет собой искусственную шкалу отсчета, применяемую для сравнения процессов в отдельных системах. Одно из центральных положений теории относительности, полностью воспринятое многими геологами (С. В. Мейен, К. В. Симаков, И. В. Круть и др.), заключается в том, что время и пространство существуют не сами по себе, в отрыве от материи, а находятся с ней в универсальной взаимосвязи, в которой они теряют самостоятельность и выступают как стороны единого многообразного процесса.

Вот, например, что высказывает по этому поводу С. В. Мейен: *«Психологически время воспринимается через наши внутренние процессы и внешние, прежде всего, астрономические явления (смена дня и ночи, времени года). В человеческом восприятии эти астрономические явления, а также искусственные часы олицетворяют самостоятельность времени, создают внешние временные рамки для всего, что происходит вокруг. Эта философия абсолютного времени, соответствующая классической механике Ньютона, вошла в плоть и кровь стратиграфов. Именно на ней основано противопоставление субстратных (представленных осадками) стратиграфических подразделений геохронологическим, будь то местным или планетарным.*

Лишь меньшинство теоретиков стратиграфии в полной мере осознали, что такое противопоставление несовместимо с современной физической картиной мира, в частности с общей теорией относительности».

В философии время и пространство предстают как всеобщие формы существования материи, имеющие объективный характер. Время определяется как форма последовательной смены явлений и состояний материи, характеризующее длительность их бытия, а пространство — форма сосуществования материальных объектов и процессов, характеризующая структурность и протяженность материальных систем. Время и пространство неразрывно связаны друг с другом. Универсальным свойством времени и пространства является длительность (протяженность), неповторяемость, необратимость, единство прерывности и непрерывности.

Появление и распространение в науке таких понятий, как «астрономическое время», «геологическое время», «биологическое время», якобы отражающих специфику соответствующих процессов, можно расценить не что иное, как недостаточность и нечеткость общеполитической формулировки пространства—времени (так же, как и многих других категорий).

И все же в рамках данного учебного пособия остановимся на понятии геологического времени. Теоретическая стратиграфия привнесла в геологию представления о времени и пространстве, заимствованные из физики без учета особенностей геологического процесса. Между тем, специфика и многообразие различных форм движения материи предполагают, что теория, пригодная в физике, описывает только часть общей картины мира.

Очень много внимания для рассмотрения проблемы геологического времени уделил К. В. Симаков. По его мнению, во-первых, реальное геологическое время не динамическое, воспринимаемое как «непрерывно текущая продолжительность» (т. е. количественно), а статистическое, которое отображает *«качественно-различные последователь-*

ные состояния одной и той же или сменяющих друг друга материальных систем», и, во-вторых, «статистическая природа геологической информации ... исключает принципиальную возможность сведения геологического времени к физическому (обыденному)» — ньютоновскому.

Близкого мнения придерживается С. В. Мейен. Он считает, что «выражение «геологическая летопись» оказывается поразительно точным и полностью соответствует неклассическим (неньютоновским) представлениям и времени. Надо только помнить, что помимо времени, фиксированного в этой летописи, никакого другого времени у геолога нет, и не может быть». И соответственно геологическое время вовсе не идентично физическому, что существенно ограничивает применение некоторых понятий и методов в геологии.

Если принять за начало отсчета физическую форму существования материй, то далее можно выделить следующие формы организации материи по нарастанию сложности и специфичности: геологическое движение материи, биологическое движение материи и ноосферное движение материи. Каждый член приведенного выше ряда представляет собой качественно более высокую ступень эволюции материи. Для более высоких форм существования материи характерным является движение как развитие, т. е. цепь сложных качественных превращений. Все это в итоге находит свое отражение в соответствующих преобразованиях их времени-пространства.

С другой стороны, в естественных науках проблема времени неразделима с проблемой его измерения, т. е. с выбором и градуировкой системы пространственно-временных координат. В этом случае возникает проблема рассмотрения координат и метрики геологического времени.

Цель измерения геологического времени заключается в выяснении последовательности геологических событий. Определение момента, продолжительности событий геологического прошлого Земли возможно путем установления порядка напластования и взаимоотношений геологических тел, слагающих литосферу. Поставленные цели и пути их возможной реализации определяют основное требование к шкале геологического времени: ее деления должны быть индивидуализированы, узнаваемы и достаточно определенно отличимы одно от другого.

4.1. Хронология, хронометрия, одновременность

В геологии давно используют термины «абсолютный» и «относительный возраст». В итоге — за одним термином «возраст» скрываются два понятия — время—длительность (для термина «абсолютный») и время — последовательность (для термина «относительный»). Под хронологией подразумевают последовательность событий, а внешние временные рамки относят к компетенции хронометрии.

4.2. Хронология (время-последовательность)

Определить последовательность событий означает установить во множестве событий (явлений) отношения «раньше-позже», «одновременно». Определение последовательности геологических событий производится путем установления порядка напластования и взаимоотношения геологических тел, слагающих литосферу. Следы геологических событий фиксируются «памятниками» событий — геологическими телами.

Хронология — это неметрическое упорядочивание событий по отношениям «раньше—позже» (или «между»). Совокупность событий, специально подобранных для дальнейших временных сопоставлений (т. е. для последующей корреляции), условимся называть хронологической шкалой.

Само понимание времени, неотделимое от процесса и цели стратиграфии, заставляет устанавливать прежде всего последовательность событий, следы которых в той или иной форме фиксируются в разрезах. Иначе говоря, задача измерения геологического времени сводится к определению хронологической последовательности геологических событий. Геологические события, однако, достаточно разнообразны и могут принадлежать к разным системам, в известных пределах независимым. Тектоническое развитие Земли, эволюция осадконакопления могут быть примерами процессов, происходящих в таких системах. Наконец, особую систему составляет органический мир. Как показал К. В. Симаков, для всех этих систем могут быть предложены свои пространственно-временные координаты, в общем случае не совпадающие между собой.²² Следовательно, возникает необходимость сопоставления этих координат с помощью одной привилегированной системы отсчета геологического времени, т. е. (применительно к геологической истории Земли) выбора этой системы в качестве универсальной временной шкалы. Как уже было отмечено, по своему содержанию это будет хронологическая шкала. Естественно, используя хро-

²² Он отмечает, что «абстрактное понятие «стратиграфическое подразделение» адекватно физическому понятию «интервал времени». Поэтому «стратиграфическое подразделение» соответствует временной протяженности между двумя последовательными событиями, связанными отношениями воздействия. Но, так как время и пространство неотделимы друг от друга, только пространство—время являются абсолютной формой существования материи. Этим автором предлагается следующее определение понятия «стратиграфическое подразделение». Это комплекс горных пород, занимающих пространственно временной интервал с относительно гомогенной структурой определенного вида материи, соответствующий какой-либо фазе развития любого процесса, характеризующего свойственную данному виду форму движения материи.

нологическую шкалу, мы приходим к измерению относительного времени, которое определяется по соотношению выбранных геологических событий.

4.3. Хронометрия (время—длительность)

В то же время для уяснения динамики геологических процессов чрезвычайно важно располагать данными о продолжительности отдельных отрезков геохронологической шкалы. Следовательно, возникает необходимость в *хронометрии*, т. е. в измерении продолжительности (и датировке границ) подразделений геохронологической шкалы в условных абсолютных единицах.

Время — это процесс, и времен может быть столько, сколько происходит во Вселенной разных процессов. Измерение времени есть не приложение какой-то мерки к некоему потоку абсолютного времени, а всего лишь слежение за несколькими независимыми процессами, из которых один принимается как эталонный. В релятивистской физике сам термин «измерение времени» этимологически неверен. Время как таковое вне пространства, движения материи принимается не существующим.

Выбранный эталонный процесс протекает в естественных или искусственных системах, которые принято называть часами. Нет часов, которые показывают **абсолютное** время. По соглашению, в качестве основных (привилегированных) принимают астрономические часы, отмечающие астрономическое время. Именно **часы**, какова бы ни была их природа, дают внешнюю шкалу. На нее (шкалу) наблюдатель или заменяющий его прибор проецирует другие процессы. Эта операция называется хронометрированием.

Таким образом, хронометрия подразумевает наличие независимых часов, дающих внешнюю астрономическую («независимую», объективную шкалу).

Наиболее мощным инструментом хронометрии являются методы радиологической датировки, без которых, несмотря на многочисленные претензии к ним, невозможно было бы составить объективное представление о длительности всех используемых ныне геохронологических подразделений. Разумеется, точность получаемых значений нельзя абсолютизировать, причем не только с точки зрения аналитических недочетов метода, но и потому, что основная единица хронометрии — год — берется в современном его значении. Между тем продолжительность года, как и число суток в году, в течение геологической истории могла меняться. В частности, в отношении изменения количества суток в году геология уже располагает некоторыми данными. Дж. Уэллс [Wells], изучая палеозойские кораллы, обнаружил у них иное (по сравнению с

современным) число суточных линий роста, что позволило ему предложить график изменения количества суток в году в течение фанерозоя (табл. 2).

Таблица 2

Изменение количества суток в фанерозое (по Дж. Уэллсу)

Период	Начало, млн. лет назад	Количество суток в году
Кембрий	570	421
Ордовик	500	412
Силур	435	405
Девон	395	401
Карбон	345	396
Пермь	280	390
Триас	225	385
Юра	195	382
Мел	136	377
Палеоген	65	371

4.4. Одновременность

Наличие хронологической шкалы позволяет определять как последовательность, так и одновременность событий. Однако если понятие последовательности благодаря возможности эмпирического ее определения (принцип Н. Стенона) не вызывает каких-либо существенных трудностей, то одновременность геологических событий устанавливается значительно сложнее. В. А. Красилов заметил, что *«события считаются одновременными, если их невозможно расположить в порядке до — после»*. Легко заметить, что это остроумное (одновременность выступает в качестве своего рода нулевой последовательности) определение исходит из существования заранее заданной непрерывной последовательности. На практике мы очень часто убеждаемся, однако, что, казалось бы, непрерывные последовательности заключают на самом деле большие hiatus²³ (пробелы). Поэтому невозможность расположения событий в отношении до — после является необходимым, но недостаточным условием определения одновременности.

Свою формулировку предложил С. В. Мейен: *«Одновременность в хронологии — это соответствие, сопоставимость, тождественность по тем признакам (следам обстановок и событий), на которых основаны сама хронологическая шкала или сопоставляемые шкалы. События не проецируются на шкалу наблюдателем. Он ищет*

²³ От слова *hiatus* (eng.) — пробел, пропуск.

Глава 5. ОБЩАЯ СТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ ШКАЛА

Разработка относительной геохронологии является в основном пройденным этапом на пути развития стратиграфических представлений. Лежащая в основе относительного летоисчисления общая стратиграфическая шкала оформилась в своих основных чертах больше ста лет назад.

Общая стратиграфическая шкала, известная под названиями «единая», «международная», «глобальная», «стандартная», «эталонная», «хроностратиграфическая», в своей принципиальной основе была принята на II сессии Международного геологического конгресса, состоявшейся в Болонье (Италия) в 1881 г. С тех пор она не претерпела сколько-нибудь существенных изменений ни по своей форме, ни по своему содержанию. Все изменения и дополнения, которые были внесены в нее за истекший период, имеют частный характер и не нарушают общего принципа ее построения. И только на XXXI сессии МГК (Рио-де-Жанейро, 2000 г.) в основу ее построения положен последовательный ряд договоренных фиксированных точек (TGCG или GSSP). Подробнее об этом в главе 7.

Стратиграфическая шкала отражает последовательность отложений, расчленение их на отдельные стратиграфические единицы, выражает их временной объем и соподчиненность. Геохронологическая шкала показывает длительность и последовательность основных этапов развития земной коры и Земли. Обе эти шкалы свидетельствуют об общем ходе и результатах единого закономерного процесса формирования земной коры. Каждому стратиграфическому (хроностратиграфическому) подразделению соответствует геохронологическое, и, в свою очередь, любое геохронологическое подразделение должно быть хроностратиграфическим.

Шкала стратиграфическая — показывает последовательность и соподчиненность стратиграфических подразделений осадочных, вулканогенных и метаморфических образований, слагающих земную кору и отражающих пройденные Землей или участками земной коры этапы исторического развития. Существует общая шкала (объединяющая планетарные подразделения), а также региональные и местные схемы.

Общая стратиграфическая шкала — шкала, объединяющая все стратиграфические единицы, которые постоянно (т. е. в течение всех периодов) являются общими для всего земного шара или, по крайней мере, для большинства современных континентов.

В общем виде она выглядит следующим образом (табл. 3—5.).

Геохронологическая шкала — шкала относительного геологического времени, показывающая последовательность и соподчиненность основных этапов геологической истории Земли и развития жизни на ней.

Палеозойская (322)	Верний палеозой	Пермская <i>Р. Мурчисон</i> 1841 (38)	Верхний (10)	Татарский Казанский Уфимский	P _{2t} P _{2kz} P _{2u}
			Нижний (28)	Кунгурский Артинский Сакмарский Ассельский	P _{1k} P _{1ar} P _{1s} P _{1a}
		Каменно- угольная <i>В. Конибир</i> и <i>В. Филипп</i> 1822 (34)	Верхний (14)	Гжельский Касимовский	C _{3g} C _{3k}
			Средний (20)	Московский Башкирский	C _{2m} C _{2b}
	Средний палеозой	Девонская <i>А. Седжвик</i> и <i>Р. Мурчисон</i> 1839 (48)	Нижний (40)	Серпуховский Визейский Турнейский	C _{1s} C _{1v} C _{1t}
			Верхний (14)	Фаменский Франский	D _{3fm} D _{3f}
			Средний (13)	Живетский Эйфельский	D _{2pv} D _{2ef}
		Силурийская <i>Р. Мурчисон</i> 1839 (30)	Нижний (21)	Эмский Пражский (Зигенский) Лохковский (Жединский)	D _{1e} D _{1p} D _{1l}
			Верхний (13)	Пржидольский Лудловский	S _{2p} S _{2ld}
			Нижний (17)	Венлокский Лландоверийский	S _{1v} S _{2l}
	Нижний палеозой	Ордовикская <i>Ч. Лаворт</i> 1879 (67)	Верхний (10)	Ашгиллский	O _{3aš}
			Средний (30)	Карадокский Лландейловский Лланвирский	O _{2k} O _{2ld} O _{2l}
			Нижний (27)	Аренгский Тремадокский	O _{1a} O _{1t}
		Кембрийская <i>А. Седжвик</i> 1835 (65)	Верхний (18)	Аксайский Сакский Аюсоканский	E _{3ak} E _{3s} E _{3as}
			Средний (17)	Майский Амгинский	E _{2m} E _{2am}
			Нижний (30)	Тойтонский Ботомский Атдабанский Томмотский	E _{1tn} E _{1b} E _{1at} E _{1t}

Шкала докембрия (РС)

Акротема	Зонотема	Эратема	Система	Отдел
Протерозой Эммонс. 1887	Верхний протерозой PR ₂ (~1080)		Вендская Б. С. Соколов. 1950 (80)	Верхний V ₂ (50) Нижний V ₁ (30)
		Верхний рифей R ₃ (350)		
		Средний рифей R ₂ (350)		
		Нижний рифей R ₁ (300)		
	Нижний Протерозой PR ₁ (850)	Верхняя часть PR ₁ ² (600)		
		Нижняя часть PR ₁ ¹ (600)		
Архей Д. Дэна. 1872	Верхний AR ₂ (650)			
	Нижний AR (>400)			

Таблица 5

Шкала четвертичной системы

Общие стратиграфические подразделения				
система	надраздел	раздел	звено	ступень
Четвертичная (квартер)	Голоценовый Qh		Современное	
	Плейсто- ценовый Qp	Неоплей- стоцен	Верхнее	Четвертая
				Третья
				Вторая
				Первая
		Эоплей- стоцен	Среднее	
			Нижнее	
			Верхнее	
			Нижнее	

Геохронометрическая шкала — шкала абсолютного геологического времени — последовательный ряд датировок границ общих стратиграфических подразделений, выраженных в годах и вычисленных с помощью изотопно-геохронометрических (радиометрических) и других методов.

Вот как выглядит соотношение подразделений стратиграфической и геохронологической шкалы (табл. 6).

**Соотношение подразделений стратиграфической
и геохронологической шкалы**

Ранг	Обозначение	Стратиграфическая шкала		Геохронологическая шкала	
1	Mz	Группа (Эратема)		Эра	
2	J	Система		Период	
3	J ₃	Отдел	<i>Верхний</i> <i>Средний</i> <i>Нижний</i>	Эпоха	<i>Поздняя</i> <i>Средняя</i> <i>Ранняя</i>
4	J ₃ tt	Ярус	<i>Титонский</i> <i>Кимериджский</i> <i>Оксфордский</i>	Век	<i>Титонский...</i> <i>Кимериджский</i> <i>Оксфордский</i>
	J ₃ tt ₃	Подъярус	<i>Верхний или верхнетитонский</i> <i>Средний ...</i> <i>Нижний ...</i>	Время	<i>Позднее или Позднетитонское</i> <i>Средне...</i> <i>Ранне...</i>
5	J ₃ tt ₃ ¹	Зона Подзона	<i>Dorsoplanites panderi</i> <i>Pavlovia pavlovi</i>	Фаза	<i>Dorsoplanites panderi</i>

Как видно из таблицы 6, стратиграфическая и геохронологическая шкала практически адекватны. Обычно их так и делают совмещенными, где обычный текст относится к стратиграфической шкале, а текст, даваемый в скобках, — к геохронологической.²⁴ Рассмотрим теперь некоторые характерные особенности геохронологической шкалы. Прежде всего необходимо отметить неравномерность ее делений. Сопоставление данных хронологии и хронометрии показывает существенно различную продолжительность периодов²⁵ и эр²⁶. Так, например, силур оказывается почти вдвое короче девона, а продолжительность три-

²⁴ Многие студенты и начинающие геологи иногда путаются, не к месту употребляют эти понятия, особенно в пылу дискуссий. Возможно, это происходит из-за волнения или обычной невнимательности. Правильное употребление этих терминов — показатель геологической грамотности.

Для простоты запоминания. Например, говоря об отложениях, т. е. о предмете («Что и Где?»): Верхнеюрские горючие сланцы титонского яруса верхнетитонского подъяруса зоны *Dorsoplanites panderi*; но, говоря о событии («Что и Когда?»): Позднеюрская трансгрессия началась в титонском веке, в позднетитонское время, в фазу *Virgatites virgatus*.

²⁵ В исторической геологии единица относительной геохронологической (геоисторической) шкалы, отвечающая крупному этапу развития Земли и жизни на ней; является частью эры и соответствует времени образования отл. системы.

²⁶ В исторической геологии наибольшая единица относительной геохронологической (геоисторической) шкалы, отвечает наиболее крупному этапу в геол. истории Земли и в развитии жизни на ней, соответствующему времени образования г. п., составляющих группу (синоним — эратема).

аса в полтора раза меньше продолжительности юры; наконец весь мезозой более чем в два раза уступает по продолжительности палеозою. Наряду с неравномерностью маркировки геохронологической шкалы фиксируется и неравномерное во времени проявление крупных геологических событий, например эпох складчатости или смены геологических циклов. Однако если для эпох диастрофизма²⁷ характерно постепенное их сближение во времени (С. Н. Бубнов), а продолжительность геологических циклов постепенно сокращается (В. Д. Наливкин), то закономерных подразделений мы не замечаем, что, кстати, может рассматриваться в качестве показателя определенной независимости геохронологической шкалы.

Другую особенность геохронологической шкалы составляет ее физическая дискретность. В настоящее время идея Дж. Барелла о том, *«что, начиная с кембрия, осадочный покров формировался главным образом за счет перемиыва осадочных же толщ»*, получает все больше подтверждений. Более того начало этого качественно нового этапа формирования осадочных пород, видимо, следует датировать не кембрием, а рифеем. Следовательно, значительную часть истории Земли ее осадочная оболочка представляет собой особую замкнутую систему, внутри которой происходит непрерывное перераспределение материала. Вследствие этого можно полагать, что в принципе невозможно существование разрезов, в которых бы был зафиксирован без перерывов процесс осадконакопления в течение более или менее продолжительного времени. Таким образом, каждое подразделение геохронологической шкалы документировано в разрезах лишь частью, притом, возможно, незначительной, осадков, которые первоначально накопились в течение соответствующего временного интервала.

5.1. Основные стратиграфические подразделения

Архейская²⁸ акротема²⁹. Выделена в 1872 г. американским геологом Д. Дэна (D. Dana). Нижняя группа пород докембрия. Делится на местные стратиграфические единицы. Состоит из нижнего и верхнего зонов (иногда их называют катархей и собственно архей). Не все признают такое деление, т. к. отсутствуют достоверные факты, указывающие на наличие между зонами проявлений диастрофизма как основного критерия для расчленения нижнего докембрия. Первоначально к архею относили все докембрийские образования, в дальнейшем трактовался

²⁷ [*diasrojh* (диастрофэ) — переворачивание] — синоним термина «движения тектонические».

²⁸ ἀρχαῖος (архэос) — древний.

²⁹ акрос (греч.) — верхний, крайний.

различно. В настоящее время под археем понимается только нижняя часть докембрия.

Протерозойская³⁰ акротема. Выделена в 1887 г. по одним данным А. Седжвиком (Sedgwick), по другим — А. Эммонсом. Это верхняя группа докембрия, залегающая на архее. В осадочных породах, преимущественно в верхней части протерозоя, встречаются органические остатки — продукты жизнедеятельности сине-зеленых водорослей (по другому — цианобактерии), в виде строматолитов и микрофитолитов, а также остатки микрофитофоссилий (акритархи и др.) Достоверные остатки животных организмов известны только в самых верхних отложениях протерозоя, они очень редки и представлены исключительно бесскелетными формами (черви, медузоидные, рангеиды и др.). Сейчас принято подразделять протерозой на две эонотемы: нижний (геохронологическое подразделение — карелий) и верхний протерозой. В верхнем протерозое выделяют рифей (состоящий из трех эратем: нижнего, среднего и верхнего) и вендскую систему. Широко принято подразделение протерозоя на местные стратиграфические единицы (серии, свиты).

Рифейская эонотема. Выделена Н. С. Шатским (1945). Название получила по древнему названию Урала — Ripheus. Это мощный комплекс отложений верхнего докембрия, развитый на Южном Урале, а также имеются аналоги этих отложений на Среднем Урале и Тимане. Изначально рифей был подразделен на 4 части: нижний, средний, верхний и венд. Позднее венд стали рассматривать как самостоятельную стратиграфическую единицу.

Вендская система. Выделена Б. С. Соколовым (1950). Название получила по древнему славянскому племени «венды», или «венеды». Это наиболее молодые отложения докембрия. Термин «венд» часто употребляется как синоним эокембрия³¹.

Фанерозойская эонотема. Совокупность палеозойской, мезозойской и кайнозойской эратем (групп). Ей соответствуют отложения, охарактеризованные органическими остатками.

Палеозойская³² эратема. Первая от докембрия группа отложений земной коры. Подразделяется на шесть систем: кембрийскую, ордовикскую, силурийскую, девонскую, каменноугольную и пермскую.

Кембрийская система. Свое название получила по старому названию провинции Уэльс — Cambria.

³⁰ (протерос) — первичный; (зоэ) жизнь.

³¹ Эокембрий (Broegger, 1900) — термин, получивший широкое распространение в Западной Европе для обозначения отложений, непосредственно предшествовавших по времени образования кембрийским. Иногда еще называют инфракембрием.

³² παλαιοζ (палеос) — древний.

Ордовикская система (соответственно в геохронологической шкале — ордовикский период). Свое название получила по древнему кельтскому племени — ордовики, — населявшем Уэльс во времена Римской империи (Ч. Лапворт³³, 1879). Она принята в качестве самостоятельной системы лишь в 1960 г. на XXI сессии МГК; ранее во многих странах рассматривалась как нижний отдел силурийской системы.

Силурийская система. Название получила по племени — силуры, когда-то населявшими Уэльс. Иногда силурийскую систему называли готландской, готландием.

Девонская система. Название получила по графству Девоншир в Англии.

Каменноугольная система. Названа так благодаря широкому развитию в ней залежей каменного угля.

Пермская система. Названа так по Пермской губернии (Россия). В Западной Европе верхний отдел пермской системы было принято называть «цехштейн (тюрингий)», а нижний — на «отэн (нижний лежень)» и «саксоний (верхний лежень)».

Мезозойская³⁴ эратема. Выделена Филлипсом (J. Phillips) в 1841 г. Вторая от докембрия группа отложений земной коры. Подразделяется на три системы: триасовую, юрскую и меловую.

Триасовая система. Названа так по делению системы на три части. Подразделяется на три отдела. В литературе также широко распространено подразделение триасовой системы на три отдела для континентальных фаций Западной Европы, соответственно снизу вверх: «бунтзандштейн», «мушелькальк» и «кейпер».

Юрская система. Свое название получила по Юрским горам в Швейцарии и Франции. Разделяется на три отдела: нижний (ранее именовавшийся лейас), средний (или доггер) и верхний (или мальм). В немецкой литературе ранее указанные отделы именовались по преобладающему цвету горных пород, т. е. черной, бурой и белой юрой. Стандартное расчленение юрской системы осуществляется по аммонитам. До последнего времени в СССР келловейский ярус рассматривался в составе верхнего отдела. Только в 1989 г. отечественная шкала была приведена в соответствие с общей. Также следует отметить то обстоятельство, что волжский ярус³⁵ выделялся только на территории быв-

³³ Смотри также примечание к таблице 1.

³⁴ мезоζ (мезос) — средний.

³⁵ Как ярус введен в единую шкалу в 1965 г. решением МСК (Межведомственным стратиграфическим комитетом). Выделен в 1881 г. Никитиным как формация. В ее составе первоначально были верхний волжский ярус (ныне соответствует верхневолжскому подъярусу) и нижний волжский ярус (соответствует нижнему и среднему подъярусу в их прежнем объеме).

шего СССР, но сейчас он переведен в ранг регионаруса. В настоящее время во всем мире самый верхний ярус верхнего отдела юрской системы — титонский, названный так по имени мифологического персонажа Титона.

Меловая система. Названа так по широкому распространению в ней писчего мела. Разделяется на нижний и верхний отделы. Употребляются также надъярусные единицы, охватывающие несколько ярусов: сенон — в верхнем отделе и неоком — в нижнем (см. табл. 3). Нижний отдел состоит из шести ярусов. Берриасский ярус иногда рассматривался как нижний подъярус валанжинского яруса или нередко его отождествляли с верхневожским подъярусом. Раньше верхний отдел состоял из семи ярусов, теперь датский ярус исключен из меловой и переведен в палеогеновую систему.

Кайнозойская³⁶ эра. Третья (верхняя) от докембрия группа отложений земной коры. Подразделяется на три системы: палеогеновую, неогеновую и четвертичную. Раньше вместо палеогена-неогена выделялась третичная «система» (Arduino, 1760), названная так по порядковому положению в первоначальной стратиграфической схеме подразделения отложений земной коры.

Палеогеновая³⁷ система. Выделена Науманном (Naumann, 1866) как первая снизу система кайнозойской эры. Подразделяется на три отдела: нижний — палеоцен³⁸, средний — эоцен³⁹ и верхний — олигоцен⁴⁰.

В 1833 г. Ч. Лайель, производя расчленение третичных отложений, основывался на изменении процентного состава содержания в них современных форм моллюсков. К эоцену он отнес слои, содержащие 3 % ныне живущих видов, к миоцену — слои, охарактеризованные 17 %, и к плиоцену — 50—67 % современных форм.

Неогеновая⁴¹ система. Выделена Хорнсом (Hoerns, 1853) как вторая снизу система кайнозойской эры. Делится на два отдела: нижний — миоцен⁴² и верхний — плиоцен⁴³.

Четвертичная система (квартер, антропогенный период). Термины «отдел» и «ярус» для отложений четвертичной системы не приме-

³⁶ *καίνοζ* (*kainos*) — новый.

³⁷ См палео... + *genos* — рождение.

³⁸ См палео + *καίνοζ* (*kainos*) — новый.

³⁹ *εωζ* (заря); + *καίνοζ* (*kainos*) — новый. Название связано с первым массовым появлением новых форм животного мира — млекопитающих.

⁴⁰ Гр. *Oligos* — немногий, незначительный + *καίνοζ* (*kainos*) — новый.

⁴¹ [*νεοζ* (неос) — новый] — приставка, обозначающая новый или молодой + *genos* — рождение.

⁴² [*μειον* (мион) — меньше; + *καίνοζ* (*kainos*) — новый].

⁴³ [*πλειον* (плион) — более; + *καίνοζ* (*kainos*) — новый].

няются. Вместо этого употребляется термин «раздел» и «звено». Делится на два раздела: плейстоцен⁴⁴ и голоцен⁴⁵.

5.2. Создание и оформление международной стратиграфической шкалы (II—VIII сессии МГК)

В основу международной стратиграфической (геохронологической) шкалы был положен «проект», разработанный швейцарским геологом Е. Реневье, одним из наиболее активных деятелей первых сессий Международного геологического конгресса.

В 1873—1874 гг. в бюллетене общества естествоиспытателей кантона Во (Швейцария) Реневье была опубликована обширная (на 9 разноцветных листах) «Таблица осадочных формаций, образовавшихся на протяжении эпох, отвечающих фазам обновления органического мира земного шара, с указанием представляющих их отложений в Швейцарии и в классических областях, их синонимии⁴⁶ и главнейших ископаемых каждого этажа». В своей таблице Е. Реневье выделял подразделения четырех соподчиненных порядков, а именно:

- подразделения 1-го порядка — эры (единицы универсального, планетарного значения);
- подразделения 2-го порядка — периоды (или группы) (почти универсальные подразделения);
- подразделения 3-го порядка — эпохи (или системы) (весьма общее значение);
- подразделения 4-го порядка — века (или этажи) (более или менее локальные или региональные фации).

Эта шкала мыслилась автором как многоступенчатая система все более общих по своему значению единиц от региональных или даже локальных веков (этажей) до универсальных, всеземного значения эр. Свою таблицу Е. Реневье рассматривал как попытку обобщить данные

⁴⁴ Гр. Pleistos — наибольший... — название подразделения четвертичной системы, характеризующегося появлением относительно большого количества новых форм жизни.

⁴⁵ [γολοζ (голѐс) — весь, полный] — приставка, употребляемая в сложных словах для выражения полноты, завершенности признаков, обозначаемых смысловой частью слова + καινός (kainos) — новый. Это отложения, сформировавшиеся после последнего (по Огу — вюрмского), в нашем случае — валдайского оледенения. Синонимы — эпоха послеледниковая, отложения современные.

⁴⁶ [συνωνυμὸς (синонимос) — одноименный] — совокупность синонимов; в палеонтологии систематический указатель всех описаний и изображений какого-либо рода, вида и т. д. Отражает взгляды автора об объеме вида, рода, семейства.

различных («местных и региональных») европейских шкал — английской, французской, немецкой — и «сбалансировать» расхождения, имеющиеся между ними.

В основу предлагавшейся им геохронологической классификации были положены палеонтологические данные, именно — фазы обновления органического мира. В соответствии с этим в его таблице отмечены моменты появления (apparitions) и исчезновения (disparitions) различных групп ископаемых, и с этими «появлениями» и «исчезновениями» формально связываются все основные рубежи в предлагаемой им системе классификации.

В системе классификации Е. Реневье радиус действия эталонной шкалы ограничен⁴⁷ (частью Западной Европы), но никаких отличий в методе определения геологического возраста в пределах и вне радиуса действия этой шкалы не указывается и фактически подразумевается, что метод этот остается неизменным.

Одним из первых мероприятий МГК, собравшегося на свою первую сессию в 1878 г. в Париже, была организация комиссии по унификации стратиграфической номенклатуры⁴⁸. По докладу этой комиссии на второй сессии МГК в Болонье (1881 г.) была принята общая схема международной системы стратиграфической классификации, прототипом которой явилась четырехступенная иерархическая система Е. Реневье.

Второй сессией МГК было принято разделение «минеральных масс земной коры» с точки зрения их возраста на стратиграфические единицы пяти соподчиненных рангов, а именно:

группы,
системы,
отделы (или серии),
ярусы,
слои.

Этим стратиграфическим подразделениям полностью отвечают адекватные, геохронологические подразделения:

эры,
периоды,
эпохи,
века⁴⁹,

⁴⁷ И тем более ограничен, чем к более дробным единицам шкалы (названной впоследствии «геологическим хронографом») он применялся.

⁴⁸ [лат. *nomenclatura* — роспись имен] — совокупность или перечень названий, терминов, употребляющихся в какой-либо отрасли науки, техники и т. д.

⁴⁹ Для хронологических единиц 5-го ранга, отвечающим слоям, в решениях 2-й сессии определенного названия зафиксировано не было. Только на восьмой сессии МГК в Париже (1900 г.) для стратиграфических и геохронологических подразделений 5-го порядка были предложены соответственно термины «зона» и «фаза».

которые рассматриваются как *производные от стратиграфических*. В отношении значения, как стратиграфических, так и геохронологических подразделений в решениях второй сессии МГК ничего сказано не было. Не нашла в этих решениях своего отражения и проблема соотношения принятой системы классификации с местными и региональными шкалами. Вопрос о том, должна ли эта система заменить последние или служить для них лишь общим «эталоном», как полагал Е. Реневье, остался в решениях второй сессии МГК не разъясненным.

Различные вопросы стратиграфической классификации и номенклатуры рассматривались и обсуждались на ряде последующих сессий конгресса, вплоть до VIII сессии, состоявшейся в 1900 г. в Париже. Обсуждению подвергались как общие принципиальные вопросы стратиграфической классификации, так и схема классификации. Ее детально разработанный вариант был еще в 1873—1874 гг. представлен Е. Реневье.

Что касается самой схемы, то на первых сессиях МГК, главным образом на III (Берлин, 1885) и IV (Лондон, 1888), подвергалась обсуждению лишь ее часть подразделений старших рангов, до 3 ранга (эпоха — серия) включительно. Это обсуждение не привело к выработке вполне законченной схемы деления, но при обсуждении определилась в своих основных чертах та схема классификации, которой пользуются и сейчас.

К VI сессии МГК (Цюрих, 1894) Е. Реневье разработал новый, второй вариант «Таблицы осадочных формаций» и под общим названием «Геологический хронограф» («Chronographe geologique») опубликовал ее в трудах. Несколько позже, в 1897 г., к VII сессии МГК (С.-Петербург, 1897 г.) тот же «Геологический хронограф» был уже издан в виде отдельной книги.

При обсуждении принципов стратиграфической классификации на первых трех сессиях МГК наметились три различные точки зрения на сущность международной системы стратиграфических (и геохронологических) подразделений, принятой II сессией конгресса.

- Мнение французской делегации — подразделения международной шкалы *всех рангов* должны рассматриваться как *естественные единицы универсального значения*. (Даже подразделения самого низкого ранга — «слои» — рассматриваются ими как самостоятельные в палеонтологическом и палеогеографическом отношении единицы, которые могут быть прослежены по всей поверхности земного шара⁵⁰).

- Точка зрения российской делегации (С. Н. Никитин, Ф. Н. Чернышев) — решительно высказались за признание универсального, но ус-

⁵⁰ Т. е. «слои» отвечают самостоятельному этапу развития органического мира, с одной стороны, и палеогеографическим условиям земной поверхности — с другой.

ловного (искусственного, по их выражению) характера подразделений международной шкалы. Другими словами, С. Н. Никитин и Ф. Н. Чернышев, подобно Е. Реневье, рассматривали, таким образом, международную стратиграфическую шкалу как условный «эталон» или «хронограф», *«как искусственную, но необходимую для дальнейшего движения науки систему»*, при помощи которой можно сопоставлять подразделения различных местных шкал.

- Точка зрения оргкомитета VII и VIII сессии МГК и комиссии по номенклатуре (секретарь Е. Реневье). Основное отличие данной точки зрения от двух предыдущих — последовательное все большее ограничение пространственной значимости подразделений международной шкалы при переходе от единиц высшего ранга (эр или групп) к единицам более низких рангов.

«Подразделения первого порядка, — должны иметь универсальное значение и основываться на палеонтологических данных, достаточно общих для использования их в пределах всей поверхности Земли». В отношении подразделений второго порядка (систем — периодов) говорится уже, что их значение должно быть лишь «весьма общим». Подразделения же низших порядков (серии — эпохи, ярусы — века) определено рассматриваются уже как единицы регионального («европейского или эквивалентного») значения. Это говорится в тезисах оргкомитета VII сессии МГК.

В докладе на VIII сессии МГК подтверждается выше изложенная позиция и кроме того особенно подчеркивается региональное значение подразделений четвертого порядка — ярусов, присутствие которых в международной классификации, по мнению комиссии по номенклатуре, вообще не обязательно.

В своих официальных решениях МГК не занял по отношению к рассматриваемым проблемам и высказанным точкам зрения принципиальную позицию и резолюция по этому вопросу, принятая на VII сессии оказалась достаточно неопределенной и противоречивой. *«Конгресс указывает, — говорится в этой резолюции, — что следует оставаться на базе исторического метода, стремясь одновременно к переходу к все более и более естественному делению».*

5.3. Дальнейшее развитие взглядов на международную стратиграфическую шкалу

Подавляющим большинством голосов была принята первая из рекомендаций — *«оставаться на базе исторического метода»*, т. е. пользоваться международной шкалой в том виде, как она сложилась исторически, уточнять и детализировать ее в соответствии с принципом приоритета, но не вносить в нее каких-либо принципиальных изме-

нений. Организационная работа в этом направлении интенсивно проводится в настоящее время в многочисленных национальных и международных стратиграфических комиссиях и комитетах.

Сам факт принятия и дальнейшей разработки международной стратиграфической (геохронологической) МСШ шкалы в том виде, как она есть, т.е. так, как она сложилась исторически, никак не определяет еще, однако, понимания сущности ее подразделений. И в этом отношении остаются в полной силе те две основные точки зрения на международную геохронологическую шкалу, которые сложились в период первых сессий (см. точки зрения французской и российской делегаций). В данном отношении со времен VIII сессии МГК положение дела мало изменилось. Сохранили полностью свое значение и все те проблемы принципиального характера, которые возникали в связи с МСШ в период первых сессий конгресса.

Значительно труднее оказалась реализация второй из отмеченных выше рекомендаций VII сессии МГК — *«стремиться к переходу к всё более естественному делению»*.

Закончилась неудачей попытка выполнить эту рекомендацию конгресса американскими геологами при разработке американской стратиграфической шкалы в 1933 г., которая была бы *одновременно и хронологической и естественной* и которая, с одной стороны, была бы связана с международной («европейской») шкалой и выполняла бы функции «геологического хронографа», а с другой — охватывала бы региональные и местные подразделения и тем самым служила бы рабочим инструментом для геологического картирования.

В 1961 г. американские геологи полностью, вплоть до подразделений низшего ранга, приняли международную (европейскую) шкалу как всеобщий условный масштаб геологического времени.

Неудачей закончилась также попытка стратиграфической комиссии ВСЕГЕИ (1955 г.).

Опыт рассмотренных выше неудачных построений показал, что только универсальная во всех своих звеньях геохронологическая шкала может претендовать на значение всеобщего международного эталона, или, по выражению Е. Реневье, хронографа. Из этого же опыта вытекает, что только при достаточной дробности подразделений международной шкалы последняя будет удовлетворять практическим требованиям современной геологии. К этому же заключению приводит и непосредственный анализ самой сущности рассматриваемого вопроса.

Всякое ограничение радиуса действия международной геохронологической шкалы ограничивает возможность ее использования как общего международного эталона и, следовательно, делает ее уже не международной (универсальной, всеобщей), а лишь региональной (провинциальной, трансконтинентальной и т. п.) системой классифи-

кации. Универсальное или региональное значение геохронологических подразделений определяется, в свою очередь, универсальностью или региональностью методики их выделения, рассматривая, конечно, последнюю лишь в целом, с принципиальной стороны, вне зависимости от конкретных возможностей ее использования в том или другом отдельном случае.

Международной (универсальной) шкала будет лишь в том случае, когда выделение всех ее подразделений основывается на универсальной методике исследования; и, наоборот, до тех пор, пока методика выделения ее подразделений остается в принципе универсальной, соответствующая геохронологическая шкала также сохранит, очевидно, свой универсальный (международный, всеобщий) характер.

Универсальность подразделений международной шкалы определяется универсальностью метода выделения этих подразделений, т. е. возможностью его использования в масштабе всей поверхности Земли.

Вопросы к главе 5

1. В чем отличие геохронологической шкалы от геохронометрической?
2. Какая из систем МСШ включает в свой состав надъярусные единицы?
3. Оттенками какого цвета в МСШ и на геологических картах выделяют отложения юрской системы?
4. Какие из общих подразделений МСШ связаны с Россией?
5. Каким ярусом начинается палеозой и каким начинается мезозой?
6. Что такое квартал?

Глава 6. КЛАССИФИКАЦИЯ И НОМЕНКЛАТУРА СТРАТИГРАФИЧЕСКИХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ. СТРАТИГРАФИЧЕСКИЙ КОДЕКС⁵¹

Классификация стратиграфических подразделений регламентируется национальными Стратиграфическими кодексами. Ныне действующим для России является «Стратиграфический кодекс», утвержденный Межведомственным стратиграфическим комитетом и опубликованный в 1992 г., и его дополнение от 2000 г.

Существует также Международная подкомиссия по стратиграфической классификации Комиссии по стратиграфии Международного союза геологических наук. Работа этих организаций проводится постоянно, итоги их деятельности подводятся на Международных геологических конгрессах.

6.1. Стратиграфическая классификация

Стратиграфические единицы представляют собой подразделения толщ пород земной коры, параллельные, как правило, поверхности наслоения этих отложений. Хотя стратиграфия базируется, прежде всего, на осадочных толщах, в орбиту ее исследований нередко включаются также вулканические и метаморфические породы.

Расчленение осадочной толщи земной коры и выделение в ней стратиграфических единиц могут производиться и действительно осуществляться на основе различных принципов. Выделение стратиграфических подразделений может быть основано на изменениях литологического состава, на палеонтологических данных, минералогической характеристике, электрическом сопротивлении пород, спонтанном электрическом потенциале, радиоактивности, химическом составе, передаче сейсмических волн и других физических свойствах. В основу стратиграфического расчленения могут быть положены такие признаки, как непрерывность отложений и несогласия, цикличность осадконакопления и другие особенности.

Стратиграфическим кодексом предусмотрены две группы стратиграфических подразделений — основные и специальные. Эти группы подразделяются на категории, для каждой из которых установлены определенные таксономические единицы, обозначаемые ранговыми терминами.

В стратиграфическом кодексе принята следующая классификация стратиграфических подразделений.

⁵¹ (Лат. *codex* — книга) — совокупность правил, норм, убеждений.

6.1.1. Основные стратиграфические подразделения

Общие		Региональные	Местные
Акротема		Горизонт	Комплекс
Зонотема		(Подгоризонт)	Серия
Эратема		Лона	Свита
Система		Слои	(Подсвита)
Отдел		с географическим	Пачка
Ярус		названием	
(Подъярус)			
Зона	Раздел		
	Звено		
	Степень		

6.1.2. Специальные стратиграфические подразделения

Литостратиграфические: толща, пачка, слой (пласт), маркирующий горизонт; органогенные массивы, стратогены.

Биостратиграфические: биостратиграфические зоны различных видов (зона распространения таксона-биоэра, зона совместного распространения, филоэра, интервал-зона, акме-зона, комплексная зона); вспомогательные подразделения (слои с фауной или флорой).

Климатостратиграфические: климатолит, стадия, наслой.

Магнитостратиграфические: магнитозоны (мегаэра, гиперэра, суперэра, ортоэра, субэра, микроэра).

Сейсмостратиграфические: сейсмокомплексы.

Основные стратиграфические подразделения являются главными картируемыми элементами геологических карт разных масштабов. Категории основных стратиграфических подразделений отражают их географическое распространение: потенциально планетарное, региональное или местное (в пределах геологического района). Основные стратиграфические подразделения более низкого ранга в сумме составляют полный объем подразделения более высокого ранга.

Специальные стратиграфические подразделения являются единицами частного обоснования и устанавливаются с помощью отдельных методов. Они часто используются в качестве вспомогательных по отношению к основным подразделениям при расчленении и корреляции разрезов. Некоторые из специальных подразделений картируются.

Дополнительные подразделения (единицы) могут быть выделены в шкалах любых групп и категорий. Они обозначаются ранговыми терминами подразделений с приставками *над-* и *под-*.

Дополнительные подразделения обозначаются ранговыми терминами с приставкой *над-* и должны включать полные объемы объединяемых подразделений, более низких по рангу. Дополнительные подразделения, обозначенные ранговыми терминами с приставкой *под-*, в сумме должны составлять полный стратиграфический объем основного подразделения. Стратиграфические границы дополнительных подразделений должны совпадать с границами более низких по рангу таксономических подразделений той же категории.

Стратиграфические подразделения, относящиеся к разным группам и категориям, являются самостоятельными, т. е. установление подразделений одной категории и их стратиграфические объемы не зависят от соотношений с подразделениями других категорий. Подразделения разных категорий могут быть сопоставлены между собой по геологическому возрасту и стратиграфическому объему.

6.2. Общие стратиграфические подразделения

Общие стратиграфические подразделения обладают потенциальной пространственной и временной непрерывностью. В принципе они могут быть встречены на всех континентах.

Переход от местных и региональных подразделений к единицам общей шкалы является процессом абстрагирования, как и всякое движение от частного к общему.

Общие стратиграфические подразделения — это совокупность горных пород (геологические тела), образовавшиеся в течение интервала геологического времени, зафиксированного в стратотипическом разрезе и или с помощью лимитотипов⁵².

Общие стратиграфические подразделения имеют потенциально планетарное распространение. Они отражают общие закономерности (или этапность) развития лито- и биосферы в тесном их взаимодействии между собой и с другими оболочками планеты.

Совокупность общих подразделений в их полных объемах составляет общую стратиграфическую шкалу.

Общие стратиграфические подразделения устанавливаются с помощью различных методов исследований, которые в совокупности наиболее полно раскрывают особенности соответствующего этапа геологической истории Земли. В зависимости от положения общего стратиграфического подразделения в геологическом разрезе земной коры и его ранга определяется роль того или иного метода.

При установлении общих стратиграфических подразделений докембрия используются проявления крупной этапности развития земной коры

⁵² Стратотипы границ.

в избранных стратотипических местностях, а также смена комплексов остатков организмов и продуктов их жизнедеятельности. Границы таких подразделений определяются теми или иными геологическими событиями в стратотипических местностях (появления крупных тектонических движений и процессов метаморфизма, усиление интрузивной деятельности, резкая смена формаций и т. п.). Изотопно-геохронометрические методы используются для датировки докембрийских подразделений и их границ и играют ведущую роль в межрегиональном прослеживании подразделений.

Для фанерозоя ведущим методом установления общих стратиграфических подразделений (эратема — зона) является биостратиграфический метод, базирующийся на эволюции органического мира с ее ясно выраженной необратимостью и более или менее четкой этапностью. Границы общих подразделений фанерозоя определяются, как правило, биотическими⁵³ событиями.

При установлении общих стратиграфических подразделений четвертичной системы (раздел—ступень) наряду с биостратиграфическим методом ведущее значение приобретают климатостратиграфический и в ряде случаев изотопно-геохронологический и палеомагнитный методы.

Таксономическая шкала общих стратиграфических подразделений состоит из ряда соподчиненных единиц, которым соответствуют таксономические единицы геохронологической шкалы.

Общие стратиграфические подразделения		Геохронологические подразделения
1. Акротема		1. Акрон
2. Эонотема		2. Эон
3. Эратема		3. Эра
4. Система		4. Период
5. Отдел		5. Эпоха
6. Ярус		6. Век
7. Зона	Раздел	7. Фаза
	8. Звено	8. Пora
	9. Ступень	9. Термохрон

⁵³ Биота (от греч. *biote* — жизнь). Исторически сложившаяся совокупность растений и животных, объединенных общей областью распространения. В отличие от биоценоза, виды, входящие в состав Б., могут и не иметь экологических связей (например, кенгуру и двоякодышащая рыба цератодус, входящие в состав австралийской фауны). Однако во многих случаях одна и та же совокупность организмов может рассматриваться и как Б. (с позиций биогеографии), и как биоценоз (с позиций экологии).

Таксономический ранг общего стратиграфического подразделения определяется эмпирически с учетом значения и длительности соответствующего ему этапа геологической истории, проявленного в различных признаках эволюции литосферы, биосферы и других оболочек Земли.

Нижняя стратиграфическая граница общего подразделения определяется по его подошве в стратотипическом разрезе или в выбранном стратотипе границы в другом разрезе. Верхняя граница определяется уровнем нижней границы вышележащего общего стратиграфического подразделения.

Высшие по рангу общие стратиграфические подразделения (выше яруса), как правило, не имеют самостоятельных стратотипов, их стратиграфические объемы определяются совокупностью объемов более низких по рангу подразделений. В докембрийских образованиях, отличающихся ограниченными возможностями межрегиональной корреляции, стратотипы выбираются и для высших по рангу общих подразделений, включая эра- и зонотемы.

Для точного определения границ и объемов общих подразделений выбираются стратотипы границ (лимитотипы), которые являются также границами низших по рангу общих стратонов.

ЯРУС — таксономическая единица общей стратиграфической шкалы, подчиненный отделу. Устанавливается по биостратиграфическим данным, отражающим эволюционные изменения и этапность развития органического мира, как правило, на уровне низких таксонов палеонтологической систематики. Палеонтологическая характеристика яруса составляется из широко распространенных видов (и родов), содержащихся как в стратотипе яруса, так и в других одновозрастных отложениях.

Ярус должен иметь стратотип⁵⁴.

ЗОНА (хронозона) — таксономическая единица общей стратиграфической шкалы, подчиненная ярусу. Зона устанавливается по биостратиграфическим данным и отражает определенную стадию развития одной или нескольких групп фауны или флоры. Границы зоны устанавливаются по нижнему и верхнему пределу стратиграфического распространения зонального палеонтологического комплекса, в состав которого должна входить группа видов, быстро эволюционирующих и имеющих широкое географическое распространение.

Зона должна иметь стратотип.

⁵⁴ Конкретный разрез отложений одного обнажения и (или) нескольких близко расположенных какой-либо стратиграфической единицы (яруса, горизонта или местного подразделения свиты и др.), который исследователем, впервые выделившим эту единицу, указывается и описывается в качестве ее типового разреза. Служит эталоном для последующего сравнения с соответствующими геол. возрасту отл. др. р-нов.

РАЗДЕЛ — таксономическая единица общей стратиграфической шкалы, используемая в качестве наиболее крупного подразделения четвертичной системы. Раздел имеет одновременно индивидуальную биостратиграфическую и климатостратиграфическую характеристики. Он соответствует относительно длительному и сложному этапу развития климата и охватывает несколько крупных климатических ритмов.

Раздел не имеет собственного стратотипа, его стратиграфический объем складывается из объемов стратотипов звеньев или ступеней.

ЗВЕНО — таксономическая единица общей стратиграфической шкалы, подчиненная звену и используемая для отложений четвертичной системы; возможно ее использование для неогеновых отложений. Звено имеет одновременно индивидуальную биостратиграфическую и климатостратиграфическую характеристики. Оно объединяет комплексы пород, сформировавшиеся во время несколько климатических ритмов — потеплений (межледниковье, арид) и похолоданий (ледниковье, плейвиал).

Звено может не иметь собственного стратотипа, и в этом случае его объем определяется совокупностью стратотипов ступеней, входящих в его состав.

СТУПЕНЬ — таксономическая единица общей стратиграфической шкалы, подчиненная звену и используемая для отложений четвертичной системы. Возможно ее использование для неогеновых отложений. Выделяется на основании преимущественно климатостратиграфических критериев. Ступень объединяет комплексы пород, сформировавшиеся во время глобального (субглобального) похолодания или потепления климата. В средних широтах отвечает отдельному ледниковью или межледниковью, в тропическом поясе — крупному плейвиалу или ариду.

Ступень должна иметь стратотип.

6.3. Региональные стратиграфические подразделения

Региональные стратиграфические подразделения — это совокупности горных пород, сформировавшиеся в определенные этапы геологической истории крупного участка земной коры, отражающие особенности осадконакопления и последовательность смены комплексов фаун и флор, населявших данный участок.

Региональные стратиграфические подразделения служат для корреляции местных стратиграфических схем и способствуют их сопоставлению с общей стратиграфической шкалой. Обычно это литостратиграфические подразделения, т. к. в основу выделения последних в качестве ведущего признака положен литологический состав отложений с учетом закономерностей накопления осадков (характер переслаивания разных типов пород, цикличность седиментации и т. д.).

Географическое распространение регионального подразделения ограничивается геологическим районом (например, Восточно-Европейская платформа, Мезенская синеклиза, Предуральский краевой прогиб).

Совокупность региональных подразделений составляет региональную стратиграфическую схему.

Стратиграфическим границам региональных подразделений могут отвечать изменения режима и перерывы в осадконакоплении, существенные изменения биоты или климата, структурные перестройки. Латеральные границы регионального подразделения определяются пределами географического распространения входящих в его состав стратиграфических подразделений.

Таксономическими единицами региональных стратиграфических подразделений являются горизонт, лона и слои с географическим названием.

ГОРИЗОНТ⁵⁵ (термин в отечественную науку ввел Николай Алексеевич Головкинский (1834—1894) — основная таксономическая единица, выполняющая корреляционную функцию в пределах своего географического распространения. Включает разновозрастные свиты (серии) или их части лито- биостратиграфического подразделения. Иногда его называют **региоюрс**.

Ю. В. Тесленко в «Кратком справочнике по стратиграфической терминологии» приводит следующую формулировку горизонта (с географическим названием) — *«региональное стратиграфическое подразделение, интегрирующее по простиранию совокупность разновозрастных разнофациальных отложений: свит, подсвит, частей свит или вспомогательных стратиграфических подразделений»*.

Одновозрастность элементов горизонта определяется палеонтологическими критериями. Имеет собственный стратотип, в качестве

⁵⁵ Вот как описывается этот термин в Геологическом словаре:

1. Горизонт с географическим названием — стратиграфическая единица регионального значения, объединяющая по горизонтали (на площади) разнофациальные синхроничные отл., примерно по рангу соответствующие зоне единой шкалы. Г. выделяется по палеонтологическим признакам, но учитывающим также фациально-литологические и др. особенности отл. Назв. Г. получает по наименованию наиболее хорошо представленной и изученной разновозрастной свиты какого-либо р-на, которая и является его стратотипом.

2. Г. без географического назв. — слой или пачка слоев, выделяемая внутри подсвиты, свиты или яруса на основании каких-либо характерных маркирующих особенностей (литологических или палеонтологических), обозначение свободного пользования.

3. В стратиграфии четвертичной системы отл., сформировавшиеся на протяжении одного ледникового или межледникового и имеющие межрегиональное распространение.

которого может быть избрана одна из входящих в горизонт свит и именуется по стратотипической свите.

Составными частями горизонта являются подгоризонты (части горизонта) и биостратиграфические единицы — провинциальные зоны (лоны).

Лона — (термин, предложенный профессором Санкт-Петербургского университета Григорием Яковлевичем Крымгольцем) — (=провинциальная зона, или ЛОкальная зоНА) — таксономическая единица, подчиненная горизонту.

Ю. В. Тесленко определяет лону как региональное биостратиграфическое подразделение, являющееся частью горизонта и интегрирующее в пределах палеобиогеографической области или провинции моно- и полифациальные отложения, которые характеризуются определенным комплексом органических остатков и присущими только им одним или несколькими видами-индексами.

Лона имеет стратотип с хорошо представленным зональным комплексом органических остатков. В нем обязательно присутствие одного или двух видов-индексов. Название образуется из слова лона — наименование вида-индекса. (Например — лона *Khosedaeella starobogatovi*, характеризующая верхние слои соликамского горизонта.) Для обозначения геохронологического эквивалента лоны применяется термин **время** с прибавлением названия лоны.

Лона как региональное подразделение должна быть принята (утверждена) пленумом Межведомственного стратиграфического комитета.

Слои с географическим названием — таксономическая единица, подчиненная горизонту или подгоризонту. Выделяется по особенностям литологического состава и (или) на биостратиграфической основе. Они могут не заполнять весь стратиграфический объем горизонта.

6.4. Местные стратиграфические подразделения

Местные стратиграфические подразделения — совокупности горных пород, выделяемые по стратиграфическому положению в местном разрезе на основании комплекса признаков при преимущественном учете фациально-литологических или петрографических особенностей, ясно отграниченные как по разрезу, так и по площади, распознаваемые при проведении полевых работ и картируемые. Местные стратиграфические подразделения высокого ранга (комплексы, серии, свиты) отражают этапы геологической истории соответствующих участков земной коры, имеют **комплексное обоснование** (вещественный состав; палеонтологическая характеристика; перерывы; ритмичность; характер границ и географическое распространение).

Ограниченное распространение местных стратиграфических подразделений обусловило наличие двух видов границ — стратиграфических (нижней и верхней — по разрезу) и латеральных (оконтуривающих по площади).

Объем местных стратиграфических подразделений не зависит от масштаба геологической съемки и может быть разным в разных регионах. Ранг местных стратиграфических подразделений определяют эмпирически в зависимости от относительного значения их в последовательности отложений данного региона, мощность не является определяющим признаком, хотя принимается во внимание.

Местные стратиграфические подразделения не должны рассматриваться как предварительные, подлежащие при дальнейших исследованиях замене подразделениями общей стратиграфической шкалы.

Стратиграфические границы местных стратиграфических подразделений приурочены к изменениям вещественного состава пород по разрезу, к стратиграфическим перерывам и угловым несогласиям, смене ассоциаций остатков организмов, а также к существенным изменениям различных геофизических параметров. Всем им (за исключением пачки) присваиваются географические названия.

КОМПЛЕКС — наиболее крупная таксономическая единица местных стратиграфических подразделений, объединяющая две или более серии. Обычно это представляет собой сложно-построенное геологическое тело большой мощности, широко распространенное в пределах региона и отвечающее крупному этапу геологического развития последнего. Объединяет несколько серий (свит). Именуется по названию какого-либо географического объекта (например Елецкий комплекс).

Комплекс чаще всего используется в стратиграфии докембрийских образований, где выделяется с учетом степени метаморфизма слагающих пород и нередко отделяется от смежных по разрезу комплексов структурным или значительным стратиграфическим несогласием.

Комплекс может не иметь своего собственного стратотипа; в этом случае он характеризуется суммой стратотипов составляющих его серий или свит (толщ). Комплекс может подразделяться на подкомплексы и серии.

СЕРИЯ⁵⁶ — местное стратиграфическое подразделение, представляющее собой сложно-построенное, разнофациальное геологическое

⁵⁶ Наиболее крупная единица из местных (региональных) стратиграфических подразделений, охватывающая мощную и сложную по составу толщу осад., вулканогенных или метам. образований (или совокупность тех и др.), часто отвечающих единому крупному седиментационному, вулк. или тект. циклу. По объему С. может соответствовать отделу единой шкалы, но может быть больше или меньше последнего. Делится на свиты и имеет собственное географическое назв.

тело, которое состоит из сумм ассоциирующих по какому-либо общему литологическому признаку свит. Формирование серии приурочено к одному крупному седиментационному циклу геологического развития региона, его части или структурно-фациальной зоны. Границами серий чаще всего являются «плоскости крупных региональных несогласий...». Название серии дается по географическим объектам, расположенным в области распространения.

Серия может не иметь своего собственного стратотипа; в этом случае она характеризуется суммой стратотипов составляющих ее свит (толщ).

СВИТА⁵⁷ — основная местная стратиграфическая единица, получившая всеобщее признание в отечественной геологии. В качестве свиты обычно принято выделять комплекс отложений, либо однородных в литологическом отношении (например «сысольская свита»), либо представляющих собой определенное чередование нескольких типов пород, либо объединенных каким-нибудь дополнительным признаком (окраска, характерные включения, однородность косой слоистости и т.п.). Свита должна отличаться достаточной устойчивостью основных литолого-фациальных и палеонтологических признаков на всей территории своего распространения.

При выделении свит следует учитывать генетический принцип, относя к той или иной свите отложения, принадлежащие к одному циклу седиментации, и приурочивая, по возможности границы свит к проявлениям тектонических движений. Как правило, свиты объединяют отложения сходного генезиса. Во всяком случае нежелательно соединение в одной свите морских и континентальных отложений. Свита не должна заключать отложения, разделенные значительным перерывом или региональным размывом.

При наличии ископаемых остатков организмов характеристика свиты должна обязательно включать соответствующие палеонтологические данные, которые, в частности, могут привлекаться для опознавания и прослеживания свит. Однако при выделении свит и установлении границ между ними на первое место в подавляющем большин-

⁵⁷ Основная единица из местных стратиграфических подразделений, выделяемая преимущественно по фациально-литологическим признакам и ограниченная в своем распространении пределами структурно-фациальной зоны или др. частью геол. региона. Это совокупность отл., образовавшихся в данном регионе в определенных физико-географических условиях и занимающих в нем определенное положение. Границы С. часто не совпадают с границами подразделений единой стратиграфической шкалы; в этом случае она может включать в себя частично или полностью отл. 2—3 смежных подразделений единой шкалы. Подразделяется на подсвиты, которые именуются нижней, средней и верхней с прибавлением географического назв. С.

стве случаев выдвигаются литологические, а не палеонтологические признаки. Это обстоятельство допускает выделение свит в осадочных толщах, не содержащих ископаемых остатков организмов. Не следует объединять в одну свиту отложения разного литологического состава, даже если на основании палеонтологических данных они являются практически одновозрастными. В тоже время при выделении свит необходимо учитывать, что свита на всем своем протяжении может объединять отложения, возрастной интервал которых изменяется по простиранию.

При выделении свиты обязательно указание ее стратотипа. Пожалуй, ни для одного стратиграфического подразделения стратотип не имеет такого определяющего значения, как для свиты. Стратотип свиты является не только вещественным хранителем ее названия, но и разрезом, по которому составляется ее диагноз. В свою очередь, без достаточно четкого диагноза свиты невозможно ни однозначное проведение ее границ, ни уверенное прослеживание свиты.

При детальном геологическом исследовании часто выявляется внутренняя неоднородность свит, что служит основанием для выделения более мелких стратиграфических подразделений. Большинство из них является стратонами свободного пользования (пачка, пласт, клин, маркирующий горизонт⁵⁸, толща, слой). Единственным внутрисвитным подразделением, которое определенным образом регламентируется, является **подсвита**. Подсвиты выделяются по литологическим признакам, подчиненным основному признаку свиты. Например, в свите переслаивания песков и глин нижняя подсвита характеризуется грубым переслаиванием (мощность отдельных пластов в среднем более 5 м), а верхняя — тонким переслаиванием (мощность отдельных пластов не более 1—2 м). Подсвиты обязательно смыкаемы, т.е. заполняют весь объем свиты. Подсвита имеет стратотип, который по определению совпадает со стратотипом свиты. Число подсвит обычно 2—3. Их название образуется путем приставки ниже-, средне-, верхне- названия свиты и термина «подсвита», например нижеберезовская подсвита. Подсвиты являются картируемыми единицами при крупно- и среднемасштабной геологической съемке.

ПАЧКА — относительно небольшая по мощности совокупность слоев (пластов), характеризующихся некоторой общностью признаков или одним определенным признаком, которые отличают ее от смежных по

⁵⁸ Слой или пласт среди толщ г. п., выделяющийся по литологическим особенностям, цвету, составу, присутствию каких-либо включений, прослоев и др. или по комплексу орг. остатков и сохраняющий свои особенности на значительной площади, что дает возможность пользоваться им для прослеживания и сопоставления разрезов при геол. исслед.

разрезу пачек в составе свиты (подсвиты). Пачки обычно имеют ограниченное латеральное распространение, поэтому в разных районах развития свиты (подсвиты) может быть выделено различное количество пачек.

Пачки могут картироваться при крупномасштабной геологической съемке. Пачки рекомендуются обозначать арабскими цифрами, буквенными индексами. Можно называть пачки по литологическим или палеонтологическим особенностям.

6.5. Литостратиграфические подразделения

Литостратиграфические подразделения — это совокупности горных пород, объединяемые по литологическим особенностям (признакам), позволяющие устанавливать положение этих подразделений в разрезе и на площади распространения. Они обозначаются терминами свободного пользования.

Литостратиграфические подразделения используются в качестве вспомогательных к местным стратонам. К числу наиболее распространенных литостратиграфических подразделений свободного пользования относят толщу, пачку, слой (пласт), маркирующий горизонт.

ТОЛЩА — совокупность геологических образований, характеризующаяся некоторой особенностью входящих в нее пород или их ассоциаций. Чаще всего толщей называют такое геологическое тело, недостаточность обоснования выделения которого не позволяет считать его серией, свитой или подсвитой, поскольку неясны соотношения с подстилающими и (или) перекрывающими отложениями. Для толщи необходимо указание наиболее представительного разреза. Толща может подразделяться на подтолщи, пачки и слои.

ПАЧКА — относительно небольшая по мощности совокупность слоев (пластов), характеризующаяся некоторой общностью литологических признаков или одним определенным признаком, что позволяет устанавливать ее в разрезе. Наименование пачки обычно произвольно. При выделении пачек желательно указывать их типовые разрезы.

Поскольку пачки отражают некоторые характерные особенности части разреза толщи, то они обычно заполняют не весь ее объем, т. е. являются несмыкаемыми (рис. 1, a_1 и a_2). Когда в закономерно построенных толщах, т. е. сложенных чередованием, например, песчаных и глинистых пачек, они заполняют весь ее объем, они называются смыкаемыми (рис. 1, b_1 , b_2 , b_3 и b_4). Тогда их называют **связками**.

СЛОЙ (пласт) — литологически более или менее однородные, относительно маломощные отложения, отличающиеся какими-либо литологическими признаками и ясно отграниченные от ниже- и вышележащих слоев (рис. 1, v_1).

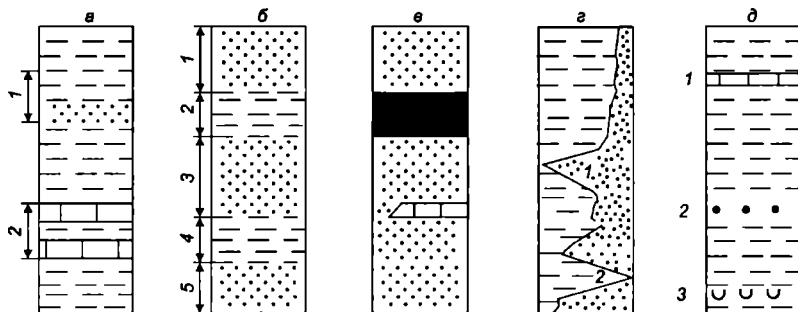


Рис. 1. Литостратиграфические подразделения свободного пользования (по Д. Л. Степанову и М.С.Месежникову).

а — несмыкаемые пакки; б — смыкаемые пакки (связки); в — пласты; г — клинья; д — маркирующий горизонт

Клин — часть слоя относительно небольшой мощности, продолжающаяся в области распространения смежного по латерали слоя и постепенно выклинивающаяся (рис. 1, $г_1$ и $г_2$).

МАРКИРУЮЩИЙ ГОРИЗОНТ — широко распространенные и фиксируемые на определенном стратиграфическом уровне относительно маломощные отложения, выделяемые на основании особенностей слагающих их пород, остатков фауны (флоры) или других признаков, заметно отличающих его в полевых условиях от нижележащих и вышележащих отложений (рис. 1, $д_1$).

ОРГАНОГЕННЫЕ МАССИВЫ — сложные и длительно развивающиеся крупные ископаемые органогенные постройки (риффы, биогермы и биостромы), выделяющиеся своей мощностью и резкими граничными поверхностями среди одновозрастных стратифицированных отложений.

СТРАТОГЕН — совокупность четвертичных (неогеновых?) отложений, обособленных и выделенных в местном разрезе (или в геологическом районе) по определенным генетическим типам формирования и занимающих определенное стратиграфическое положение.

ОЛИСТОСТРОМЫ — хаотичные ассоциации пород (микститы), состоящие из гетерокластического и часто разновозрастного материала (олистолитов), погруженного в относительно мелкозернистую бесструктурную массу (матрикс), обычно иного состава, слабостратифицированную или без следов стратификации. Им характерна пластообразная или линзовидная форма, резкость границ.

Слои — очень распространенное в русской геологической литературе конца XIX и начала XX в. подразделение, отвечающее по своему содержанию толще или свите. В настоящее время обычно не употребляется. В биостратиграфическом понимании — слои с фауной (напри-

мер «слои с Macrocephalites» в низах келловая или «слои с Amoebites и Prorasenia», характеризующие основание кимериджа).

6.6. Стратиграфический кодекс⁵⁹

Из введения к Стратиграфическому кодексу. Стратиграфический кодекс относится к числу важнейших геологических документов, организуемых стратиграфическую службу страны, способствующих повышению качества геологической съемки и других геологических работ.

Основным назначением Кодекса является обеспечение возможного единообразия в понимании и применении терминов и наименований в стратиграфических исследованиях. Кодекс регламентирует процедуру установления стратиграфических подразделений и формулирует единые требования к их характеристике.

Кодекс содержит требования, проверенные практикой с учетом традиций геологической службы, мирового опыта и новых перспективных направлений в стратиграфии. Он не является методическим руководством к установлению стратиграфических подразделений в различных конкретных геологических условиях и тем более по ведению стратиграфических работ вообще.

В Кодексе не рассматриваются теоретические вопросы стратиграфии, однако он основан на определенной концепции, принятой составителями.

Кодекс построен на следующих основных положениях:

- Признается единство стратиграфии как фундаментальной отрасли геологических наук.
- Стратиграфические подразделения разделены на две группы — основные и специальные.

При классификации основных стратиграфических подразделений учитывается географический критерий, прямо вытекающий из фундаментального принципа стратиграфии — принципа хронологической взаимозаменяемости признаков. Взаимоотношение категорий местных, региональных и общих стратонов рассматривается как отношение частного к общему.

6.1.1. Назначение и применение стратиграфического кодекса

Статья 1.1. Стратиграфический кодекс — это свод основных правил, определяющих содержание и применение терминов и наименований, используемых в практике стратиграфических исследований, и процедуру установления стратиграфических подразделений.

⁵⁹ Прямое цитирование.

Назначением стратиграфического кодекса является обеспечение:

а) единообразия требований к установлению стратиграфических подразделений

б) возможного единообразия и стабильности в применении стратиграфических терминов и наименований.

Статья 1.2. Правила стратиграфического кодекса применяются ко всем стратиграфическим подразделениям, выделенным и выделяемым на территории страны. Правила сформулированы в виде статей; советы (рекомендации) дополняют статьи или указывают возможные решения для случаев, не предусмотренных правилами.

Выполнение требований Стратиграфического кодекса обязательно при проведении геологических работ всеми ведомственными подразделениями на территории России.

Статья 1.3. Стратиграфический кодекс утверждается, может быть изменен или упразднен решением пленума Межведомственного стратиграфического комитета.

Вопросы к главе 6

1. Какие существуют общие стратиграфические подразделения?
2. Какие из них присущи только четвертичной системе?
3. Что такое лона?
4. Какие существуют местные стратиграфические подразделения?
5. Что такое МСК?
6. Каково назначение Стратиграфического кодекса?

Глава 7. СТРАТИГРАФИЧЕСКИЕ СХЕМЫ. ПОРЯДОК ВЫДЕЛЕНИЯ СТРАТИГРАФИЧЕСКИХ ЕДИНИЦ И ИХ НОМЕНКЛАТУРА

7.1. Типы стратиграфических схем

Стратиграфической схемой называется таблица, в которую сведены и скоррелированы местные и региональные стратиграфические подразделения, составляющие полный или частичный разрез некоторого участка земной коры.

В силу исторически сложившихся причин общая стратиграфическая шкала создавалась преимущественно на ограниченной территории Западной Европы. Это вызывает трудность, а зачастую и невозможность непосредственного применения за пределами последней целого ряда дробных подразделений международной шкалы (к примеру, титонский-волжский ярусы). Во многих случаях применение международной шкалы в условиях недостаточной палеонтологической охарактеризованности разреза приводит к ошибочным сопоставлениям, обуславливает различную оценку возраста одних и тех же отложений отдельными исследователями. Кроме того, и это главное, использование только международной шкалы не позволяет в полной мере отразить специфику строения осадочных серий отдельных регионов. В силу этого в практику геологических исследований широко вошло использование стратиграфических схем местного значения. Среди них⁶⁰ обычно выделяют локальные (местные) и региональные схемы⁶¹.

⁶⁰ Схема стратиграфическая местная — таблица, показывающая местные подразделения отложений одной или нескольких систем, распространенная в пределах части (структурно-фациальной зоны или подзоны) крупного геологического региона, и возрастные соотношения этих подразделений.

⁶¹ Схема стратиграфическая региональная — таблица, показывающая подразделения отложений той или иной системы в пределах различных частей (структурно-фациальных зон или подзон) крупного геологического региона и возрастные соотношения этих подразделений, а также сводный региональный стратиграфический разрез отложений данной системы. Соответственно этому С.с.р. состоит из двух основных частей (или схем) — корреляционной и унифицированной. Первая содержит разрезы отложений разных частей региона и их возрастную корреляцию. В ней показаны местные стратиграфические подразделения (серии, свиты, подсвиты, пачки), а также подразделения свободного пользования (комплексы, толщи и др.). Унифицированная схема представляет результаты обобщения данных корреляционной части региональной схемы. Содержит унифицированные, т. е. единые для всего данного региона стратиграфические подразделения и их биостратиграфическую характеристику — региональные горизонты и по мере надобности надгоризонты, подгоризонты или слои с географическим названием, а также региональные фаунистические и флористические зоны.

7.1.1. Местные схемы

Местные схемы разрабатываются применительно к конкретным условиям определенного геологического района. Например, можно говорить о локальных стратиграфических схемах Печорской плиты, Ухтинского нефтеносного района и т. п. Местные стратиграфические схемы обычно имеют вспомогательный рабочий характер. Область применения таких схем определяется прежде всего их детальностью. Чем детальнее схема, тем ограниченнее площадь ее применения. Иногда, особенно в открытых районах с широким развитием морских толщ, био-стратиграфические подразделения местной схемы должны рассматриваться как временные, от которых в дальнейшем можно будет отказаться, распространив на данный район региональную схему. В основу местных стратиграфических схем обычно кладется выделение литостратиграфических подразделений — свит и их производных.

Особенно детальные местные схемы необходимы при разведке и эксплуатации месторождений, связанных с осадочными толщами, и в первую очередь месторождений горючих ископаемых — нефти, газа, угля. На местных стратиграфических схемах такого рода необходим показ не только подсвит и отдельных пачек, но и каждого продуктивного пласта. Вместе с тем на подобных схемах важно сохранить и общую характеристику продуктивных свит, которая поможет при поисках полезного ископаемого на других площадях. Поэтому, как правило, даже самые детальные местные стратиграфические схемы сочетают стратоны как сугубо локальные (пласт, пачка), так и региональные (свита, серия).

Местная стратиграфическая последовательность отложений может быть изображена в виде стратиграфической колонки, а в районах с сильной фациальной изменчивостью толщ — с помощью геологического профиля, раскрывающего характер взаимоотношений толщ различного состава как по разрезу, так и по простиранию.

7.1.2. Региональные схемы

Региональные схемы создаются для более или менее крупных геологических регионов, под которыми понимаются области, характеризующиеся общностью исторического развития (примеры: Русская платформа, Урал и т. п.). Региональные схемы строятся на базе увязки отдельных местных схем, для которых они служат своего рода «общим знаменателем», и должны являться основой для палеогеографических⁶² и тектонических построений.

⁶² Палеогеография — география прошлых геологических эпох. Иначе палеогеография — это наука о географических ландшафтах прошлого и их развитии,

В отличие от местных схем, нередко имеющих временный рабочий характер, региональная схема, синтезирующая ряд местных схем, для определенного региона должна в известной мере заменить междunarодную шкалу. Отсюда вытекает необходимость предъявлять к региональным схемам требование большей обоснованности и стабильности по сравнению с локальными схемами. В то же время в связи с обширностью территорий, для которых разрабатываются региональные схемы, степень их детальности неизбежно должна уступать детальности локальных схем.

Указанные задачи определяют и различия в методике установления стратиграфических подразделений местной и региональной схем. В основу разработки местных схем обычно положен принцип выделения литостратиграфических (литогенетических) единиц, в частности свит в вышеприведенном понимании этого термина. Палеонтологический метод при разработке локальных схем обычно имеет подчиненное значение.

Региональные стратиграфические схемы должны строиться на основе комплексного использования палеонтологического, литологического и диастрофического методов, причем основными стратиграфическими категориями в данном случае должны служить местная зона (лона) и горизонт. Эти подразделения могут совпадать по объему с соответствующими подразделениями общей стратиграфической шкалы (зона, подъярус, ярус) или иметь несовпадающие с ними границы. Во всех случаях, однако, объем местных зон (лон) и особенно горизонтов следует определять путем сопоставления с общей шкалой. Важной особенностью региональных схем является соответствие основных подразделений этих схем естественным этапам развития регионов. Поэтому границы указанных подразделений часто оказываются приуроченными к несогласиям, сменам циклов осадконакопления и т. п.

Региональные стратиграфические схемы состоят из двух частей. Справа приводятся скоррелированные сводные разрезы отдельных районов (местные стратиграфические схемы) с указанием названий, веществен-

наука о всей совокупности прошлых физико-географических процессов и явлений, которые выражаются в ландшафтах и фациях. Геологический аспект палеогеографии выражается прежде всего в изучении тех палеогеографических явлений, которые непосредственно отражаются в геологической летописи, т. е. в конкретных признаках горных пород, их фациях. Палеогеографический анализ включает в себя реконструкцию: а) древнего рельефа; б) палеоклимата; в) особенностей и размещения организмов и органического вещества. На основе этих анализов благодаря их неразрывной связи устанавливаются более частные элементы: положение, границы, соленость, глубины, направления течения и другие признаки древних водоемов, рельеф и литологический состав суши, распределение областей сноса и седиментации, вещественный состав осадков и областей сноса и т. п.

ного состава, палеонтологической характеристики и мощностей литостратиграфических единиц; условными значками показаны их взаимоотношения (несогласия, фациальные переходы, перерывы). Слева показываются основания корреляции: приводятся названия местных зон и, если надо, горизонтов, сопоставленные с общей шкалой, а также названия и объемы различных фаунистических горизонтов и слоев с фауной (как правило, отдельно по группам) и, наконец, списки различных фаунистических и флористических комплексов, на основании которых установлены региональные биостратиграфические единицы (табл. 7).

Региональная стратиграфическая схема объединяет колонки районов в разной географической последовательности. Она является промежуточным геологическим документом между сводным разрезом и геологическим профилем. Региональные стратиграфические схемы, таким образом, отвечают унифицированным схемам⁶³ в трактовке «Стратиграфического кодекса России».

Помимо двух рассмотренных категорий стратиграфических схем местного значения — локальных и региональных — можно говорить еще и о межрегиональных схемах. Последние могут создаваться для нескольких соседних регионов, нередко различных в отношении истории геологического развития и могущих принадлежать в отдельные эпохи к различным палеобиогеографическим областям или провинциям. Межрегиональные схемы, охватывающие огромные и разнородные в структурном отношении территории можно создавать только лишь на основе биостратиграфического метода.

7.2. Порядок установления новых стратиграфических подразделений

Правила, регламентирующие установление новых стратиграфических подразделений приведены во всех национальных стратиграфических кодексах и рекомендациях стратиграфических комиссий. Но существует слишком много причин, которые приводят к бесконечным отступлениям от сформулированных правил.

При разработке стратиграфии какого-либо района прежде всего следует избегать установления местных подразделений, и особенно введения новых названий для них, без особой для этого нужды. Очень часто имеет место стремление дать новое название для аналогичных стратиграфических единиц, которые уже были выделены и названы в соседних районах. Это приводит к загромождению геологической литературы бесчисленными названиями.

⁶³ Например: Унифицированная стратиграфическая схема юрских отложений Русской платформы. СПб., 1993.

Таблица 7

**Региональная стратиграфическая схема по Стратиграфическому кодексу СССР
(с изменениями Д. Л. Степанова и М. С. Месежникова)**

Общая стратиграфическая шкала					Региональные биостратиграфические подразделения						Корреляция сводных разрезов отдельных районов			
Система	Отдел	Ярус	Подъярус	Стандартная зона (подзона).	Горизонт	Лона	Слои с фауной (флорой) и их характерные комплексы				Район 1	Район 2	Район 3	Район 4
							Группа 1 (например двустворки)	Группа 2 (например брахиоподы)	Группа 3 (например фораминиферы)	Группа 4 (например флора)				
											(Краткая характеристика свит, подсвит и пачек с указанием литологии, комплексов фауны и флоры и биостратиграфических подразделений, устанавливаемых по ним, мощности. Специальными значками показывается взаимоотношение свит и отсутствие осадков)			

Как правило, стремление к установлению большого числа новых названий отражает недостаток материалов в распоряжении геолога, что часто бывает из-за ведомственных и региональных барьеров. Часто недостаток геологической информации имеет объективные причины, когда при работе в закрытых районах расчленяются и сопоставляются разрезы на основании изучения керна скважин и различных видов каротажа. При отсутствии или утрате керна, каждый вновь начинающий в этом районе специалист вынужден предлагать свое деление разреза, т. к. воспользоваться результатом своих предшественников он просто не может.

Для того чтобы выделение местной стратиграфической единицы (свиты, горизонта и пр.) могло быть признано обоснованным, необходимо соблюдение следующих условий.

1. Стратиграфическая единица должна быть четко охарактеризована в отношении ее литологического состава.

2. Должна быть приведена мощность свиты, а для сильно изменчивых отложений — пределы колебаний мощности.

3. Должны быть охарактеризованы нижняя и верхняя границы выделяемой единицы с указанием на характер соотношения с подстилающими и перекрывающими отложениями.

4. Следует представить возможно более полную стратиграфическую характеристику выделяемой единицы, устанавливающую ее положение в общей геохронологической шкале.

5. Для обоснования самостоятельности выделяемой единицы необходимо привести сравнение с близкими по вещественному составу и геологическому возрасту отложениями смежных районов.

6. Обязательно выделение и точное указание местоположения типичного разреза устанавливаемой стратиграфической единицы или стратотипа.

7.3. Стратотип

Различают две категории стратотипов:

- стратотипы стратиграфических подразделений;
- стратотипы стратиграфических границ.

СТРАТОТИП СТРАТИГРАФИЧЕСКОГО ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ (СТРАТОТИПИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ) — конкретный разрез отложений одного или близко расположенных подразделений какой-либо стратиграфической единицы (яруса, горизонта или местного подразделения — свиты и др.), который исследователем, впервые выделившим эту единицу, указывается и описывается в качестве типового разреза. Служит эталоном для последующего сравнения с соответствующими по геологическому возрасту отложениями других регионов (определение Д. В. Степанова и М. С. Месежникова).

СТРАТОТИП — конкретный разрез (единый или составной) стратона, указанный или описанный в качестве эталона.

Стратотип — это эталонный разрез (типовой разрез), выделяемый для следующих стратиграфических подразделений — яруса, зоны, горизонта, лоны, свиты и для биостратиграфического подразделения — биостратиграфической⁶⁴ зоны, которая может подразделяться на подзоны.

Стратотип служит эталоном для последующего сравнения с ним того же стратиграфического подразделения или границ подразделения в других районах. Установление таких эталонов должно обеспечивать стабильность единообразного понимания объемов и общей характеристики стратиграфических подразделений и положения стратиграфических границ.

В качестве стратотипа выбирается определенный разрез. В ряде случаев стратотип составляется из нескольких разрезов, расположенных в пределах одного района или местности, которые соответственно получают название **стратотипического района или местности**.

СТРАТОТИПИЧЕСКАЯ МЕСТНОСТЬ (СТРАТОРЕГИОН) — район, в котором находятся стратотип и разрезы, дополняющие его характеристику.

Стратотип в стратиграфии играет прежде всего роль носителя качественной характеристики стратона, т. е. стратотип должен обладать диагностическими признаками, по которым соответствующий «стратон» может быть опознан в других разрезах.

В первую очередь, это литологические признаки, т. к. исторически понятие стратотипа возникло из потребностей региональной геологии применительно к подразделениям, которые ныне принято называть литостратиграфическими (или местными), прежде всего к свитам. При наличии органических остатков стратотип свиты (любого регионального подразделения) должен содержать и основной, характерный для свиты комплекс органических форм.

Термин «стратотип» введен по аналогии с термином «генотип» в биологии.

Стратотип подразделения неизбежно отражает определенный этап изучения разреза. Поэтому не исключена ревизия стратотипа и изменение объема выделенных в нем подразделений. Однако законными такие ревизии являются после всестороннего их обсуждения и последующего утверждения МСК.

⁶⁴ Биостратиграфическая зона — совокупность слоев, которые характеризуются определенным комплексом древних организмов, отличающихся от таковых в подстилающих и перекрывающих слоях, и имеет нижнюю и верхнюю границы, установленные биостратиграфическим методом.

Стратотипы как важнейшие геологические эталоны необходимы для всех категорий стратиграфических подразделений. Для литостратиграфических подразделений стратотипы служат стандартом характерных литологических признаков и стандартом границ (рис. 2). Стратотипы биостратиграфических подразделений являются стандартом состава фаунистических или флористических комплексов и характера их изменений на границах. Стратотипы хроностратиграфических подразделений являются стандартом для их определения.



Рис. 2. Стратотип литостратиграфического подразделения (Международный стратиграфический справочник)

Достаточно часто выбранный ранее стратотип оказывается неудачным (например, стратотип байосского яруса в Нормандии представлен конденсированными слоями), либо содержит ряд перерывов, либо, наконец, утрачивается в силу геологических или антропогенных причин. В этом случае необходимо выделение дополнительных типовых разрезов. В Стратиграфическом кодексе России регламентированы следующие образцы типовых разрезов.

1. **Голостратотип** — первоначальный стратотип, установленный автором при выделении стратиграфического подразделения.

2. **Парастратотип**⁶⁵ — дополнительный стратотип, установленный автором подразделения для уточнения его характеристики.

3. **Лектостратотип** — стратотип, выбранный позднее в тех случаях, когда он не указывался автором стратона в момент его установления (синоним — стратотип избранный).

4. **Неостратотип** — новый стратотип, установленный при физическом уничтожении или аннулировании прежнего.

5. **Гипостратотип** — справочный разрез, выделенный для расширения характеристики стратона применительно к другому району или другой фациальной зоне. Является подчиненным по отношению к голостратотипу.

⁶⁵ Пара...[гр. para возле, при] первая составная часть сложных слов, обозначающая нахождение рядом, а также отклонение от чего-либо.

6. **Составной стратотип** — совокупность разрезов расположенных в пределах стратотипической местности и составляющих в сумме полный разрез первоначального стратона.

7. **Ареальный стратотип** — разновидность составного стратотипа, который обеспечивает стратиграфическими и геоморфологическими методами определение возрастной последовательности слоев и границ стратона.

Стратотипами могут служить естественные и искусственные обнажения, а также разрезы, вскрытые скважинами (последние при условии, что керн этих скважин сохраняется и доступен для изучения).

Стратотипы обязательны для свиты, горизонта и лоны, яруса, зоны и звена. Более крупные по рангу единицы могут иметь самостоятельные стратотипы, однако чаще они представлены суммой стратотипов входящих в их состав более дробных подразделений, перечисленных выше. Каждое стратиграфическое подразделение может иметь только один стратотип — *голо-*, *лекто-* или *неостратотип*.

7.4. Лимитотип

В ряде случаев, особенно при установлении границ крупных хроно-стратиграфических подразделений, таких как системы, отделы и ярусы, оказывается, что их границы плохо охарактеризованы в стратотипических разрезах. В этом случае в конкретном разрезе, который может быть расположен за пределами стратотипического региона, но принадлежит к той же палеозоогеографической провинции, выбирается стратотип стратиграфической границы этого подразделения, или *лимитотип* (рис. 3).

СТРАТОТИП СТРАТИГРАФИЧЕСКОЙ ГРАНИЦЫ (ЛИМИТОТИП) — это выбранный в качестве эталонного разрез, в котором фиксируется положение *нижней границы стратона*.

Лимитотип — это конкретный разрез слоев горных пород, в котором выбрана конкретная точка, служащая стандартом для определения и распознавания стратиграфической границы. Лимитотипы особое значение имеют для подразделений Международной (общей, глобальной) стратиграфической шкалы.

В качестве лимитотипа для подразделений Общей стратиграфической шкалы утверждена Международной комиссией по стратиграфии (1990) так называемая **ТОЧКА ГЛОБАЛЬНОГО СТРАТОТИПА ГРАНИЦЫ (ТГСГ⁶⁶)**.

Точка глобального стратотипа границы — это точка, выбранная в конкретном разрезе толщи пород и в определенном географическом

⁶⁶ ТССГ или GSSP (Global Stratotype Section and Point).

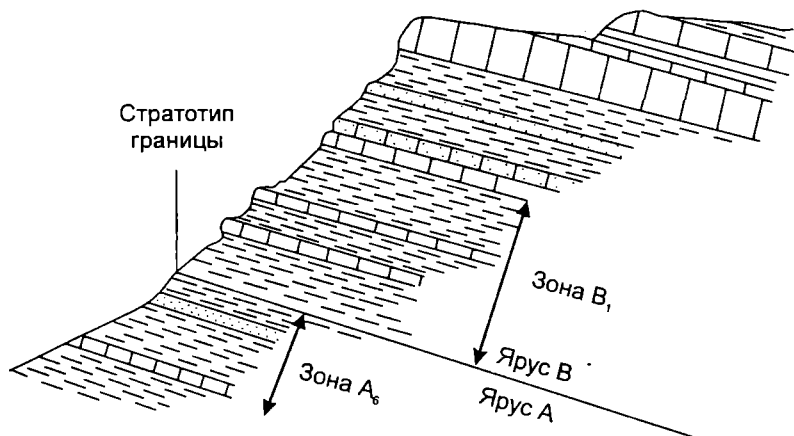


Рис. 3. Стратотип границы (Международный стратиграфический справочник)

районе, являющаяся стандартом для определения нижней границы каждого подразделения Общей стратиграфической шкалы. Практически все ТГСГ выбирается для ярусов, нижние границы которых в соответствующих случаях определяют нижние границы отделов и систем, т. е. ТГСГ должна отвечать хроностратиграфическому уровню нижней границы подразделения, который может быть охарактеризован событием с оптимальными корреляционными возможностями.

Для обеспечения лучшего распознавания границы в иных фациях или в других палеобиогеографических областях могут использоваться вспомогательные стратиграфические уровни — *вспомогательная стратотипическая точка* (Auxiliary Stratotype Point), подчиненная по отношению к ТГСГ.

7.5. Названия стратиграфических подразделений

При разработке региональных и локальных стратиграфических схем и связанном с этим выделении новых подразделений возникают вопросы об их наименовании.

Для обозначения подразделений региональных и местных стратиграфических схем наиболее рационально использовать названия, образованные по географическому признаку. При этом предпочтительно использование названия природных географических объектов (рек, гор и т. п.), неподалеку от которых расположен стратотип данного стратиграфического подразделения.

При выборе наименований для стратиграфических подразделений различного таксономического ранга желательно соблюдать соподчинен-

ность в масштабах географических единиц, используемых в качестве названий (т. е. при переходе от единиц низших рангов к более высшим использовать в качестве наименований более крупные географические элементы)

Нежелательно для стратиграфических схем (кроме сугубо временных) использование наименований, основанных на литолого-петрографических или палеонтологических признаках, или применение в названиях малообъективных и трудноуловимых признаков (окраска, плотность и т. д.).

Рекомендации, приведенные выше, относятся к литостратиграфическим и хроностратиграфическим подразделениям. Для обозначения биостратиграфических подразделений (т. е. зон различных категорий) общепринятой является практика названия их по характерному для зоны роду или виду.

Во всех случаях номенклатуры стратиграфических подразделений следует избегать синонимии (разных названий одних и тех же стратиграфических единиц) и гомонимии (одинаковых названий различных стратиграфических единиц).

7.6. Принцип приоритета и ревизия объема стратиграфических подразделений

При проведении границ между крупными стратиграфическими подразделениями и при выборе их названий и уточнении их объема должен применяться исторический подход и принцип приоритета. Последний особенно важен для последних двух.

Следует считать вполне совместимым с историческим принципом внесение разумных корректив при установлении объема и границ ранее установленных крупных стратиграфических подразделений (яруса, отдела, системы) т. к. геологическая наука не стоит на месте.

Не может служить достаточным основанием к изменению названия стратиграфических единиц изменение их таксономического ранга, т. к. в процессе выделения стратиграфических единиц не всегда сразу устанавливается их истинное значение и ранг.

Однако применение исторического принципа должно быть регламентировано, т. к. нельзя бесконечно изменять или расширять содержание ранее установленной стратиграфической единицы. Поэтому в качестве исходных критериев, которые могут быть признаны исходными при ревизии объема, границ и таксономического ранга стратиграфических подразделений признают:

1. Фаунистическую характеристику, какая была дана автором данного стратиграфического подразделения;
2. Его стратотипический разрез.

Вопросы к главе 7

1. Что такое стратиграфическая схема?
2. Что такое стратотип?
3. Для каких стратонов стратотип обязателен?
4. Для каких целей выделяется парастратотип?
5. Что такое неостратотип?
6. Что такое ТГСГ?

Глава 8. МЕТОДЫ РАСЧЛЕНЕНИЯ И КОРРЕЛЯЦИИ ОТЛОЖЕНИЙ

Расчленение — это операции, позволяющие на основании одного или нескольких генетически связанных признаков подразделять осадочную толщу, вскрытую обнажением (естественным разрезом) или скважиной на ряд *однозначно определяемых интервалов*. Эти интервалы могут быть последовательными, но могут характеризовать и отдельные участки разреза.

Корреляция⁶⁷ — это *прослеживание* установленных стратиграфических интервалов на возможно большее расстояние.

По мере удаления объектов *сокращается* количество используемых коррелятивных признаков. Главной основой для удаленных сопоставлений остается установление *одновозрастности* коррелируемых интервалов разреза. Поэтому корреляция в стратиграфии — это установление одновозрастности или возрастных соотношений (моложе/древнее) сопоставляемых стратиграфических подразделений. Хотя при решении многочисленных задач сопоставления сравнительно близко расположенных частных разрезов под корреляцией часто понимается *прослеживание* отдельных пачек и слоев независимо от их возраста и степени изохронности.

Расчленение и корреляция разрезов проводятся на основании вещественного и минерального состава пород, их литологической, геохимической характеристики, физических свойств и состава органических остатков.

По отношению к основной задаче стратиграфической корреляции — прослеживанию одновозрастных отложений — все методы подразделяются на *прямые* (палеонтологический (с оговорками), палеомагнитный и радиометрический) и *косвенные* (литологический, геохимический, палеогеографический, палеоэкологический, ритмостратиграфический, сейсмостратиграфический и др.), так как результаты применения последних для получения окончательных выводов должны увязываться (сопоставляться) с данными первой группы.

По своему стратиграфическому значению (и, соответственно, применению) *главными методами* являются литологический (литостратиграфия), палеонтологический (биостратиграфия) и изотопно-радиометрический⁶⁸ (геохронометрия). Остальные методы — *вспомогательные* (производные от главных), в силу ограниченности применения.

⁶⁷ [от латинского — *correlatio*] — соотношение, соответствие, взаимосвязь предметов, явлений или понятий.

⁶⁸ Нуклеостратиграфия — по Ю. В. Тесленко.

В настоящее время, благодаря интенсивным геолого-разведочным работам на закрытых территориях нефтегазоносных бассейнов (сопровождаящимся увеличением глубины исследуемых частей разреза) и их продолжениях на внутренних акваториях и шельфе открытых морей, большое значение приобретают геофизические методы стратиграфии и секвенсстратиграфия (sequence stratigraphy).

8.1. Биостратиграфия (палеонтологический метод)

Биостратиграфия опирается на изучение ископаемых остатков организмов, т. е. на палеонтологию, и использует наряду с геологическими — биологические закономерности. Основу метода составляют общая необратимость эволюции органического мира и быстрое расселение возникающих новых форм, которое происходит, как правило, за меньшие по сравнению с длительностью формирования стратиграфических подразделений отрезки времени и в геологическом смысле протекает практически одновременно.

Внедрение эволюционной палеонтологии еще в прошлом веке сделало геологию наукой исторической и привело к выделению в фанерозое всех стратиграфических подразделений общей категории — от эратем (групп) до ярусов, а в некоторых случаях и до зон.

В основе биостратиграфического метода лежит принцип последовательной смены фаунистических и флористических комплексов, или принцип «фаунистической (флористической) сукцессии»⁶⁹, базирующейся на историческом развитии органического мира Земли. Одно из основных положений эволюционной теории — необратимость эволюции — обуславливает главное преимущество палеонтологического метода перед другими методами стратиграфии, которое заключается в неповторимости исторического развития организмов одинаковых форм животных и растений. Другое преимущество — широкое пространственное распространение многих форм и их комплексов, что допускает корреляцию на основе палеонтологического метода разрезов отделенных друг от друга областей.

Объектом биостратиграфических исследований являются:

1. Ископаемые остатки организмов.
2. Толщи осадочных пород, в которых они заключены.

Таким образом, наряду с исследованиями, состоящими из сборов, определения, детального изучения и описания ископаемых организмов, биостратиграфический метод включает в себя изучение распределения ископаемых организмов и среды.

Большое значение при биостратиграфических исследованиях име-

⁶⁹ Смотри принцип палеонтологической сукцессии.

ют особенности захоронения остатков организмов. Изучение таких особенностей составляет предмет специальной отрасли палеонтологии — тафономии⁷⁰, основателем которой является И. А. Ефремов, известный еще и как замечательный писатель-фантаст.

Палеонтологическим методом осуществляются расчленение разрезов, т. е. выделение в них стратиграфических подразделений, корреляция этих подразделений и обоснование возраста. В итоге разрабатываются стратиграфические схемы, основу которых составляют как стратиграфические подразделения комплексного содержания (палеонтологическое обоснование является определяющим или существенным), так и собственно биостратиграфические подразделения.

При крупномасштабном геологическом картировании биостратиграфический метод используется главным образом для обоснования геологического (относительного) возраста местных стратиграфических подразделений и для корреляции их с подразделениями региональной или общей стратиграфической шкал. Для расчленения отложений этот метод, как правило, используется в сочетании с литологическим методом.

8.1.1. Принципиальные основы палеонтологического метода в стратиграфии

Закономерности эволюционного процесса

Необратимость эволюции. В качестве принципиальной первоосновы использования палеонтологического метода в стратиграфии используется закон необратимости эволюции.⁷¹

«Группа, однажды исчезнувшая, никогда не появляется вновь; другими словами, ее существование, пока она вообще сохраняется, не имеет перерывов». Ч. Дарвин.

Прогрессивная⁷² специализация филогенетических⁷³ ветвей (правило Ш. Депере). Специализация (теломорфоз) означает узкое приспособление к частным условиям существования, при котором связи организма со средой становятся более ограниченными, что вызывает

⁷⁰ [ταφος (тафос) — могила; νομος (номос) — закон] — наука, изучающая закономерности и условия захоронения растений и животных и возникновения ассоциаций ископаемых остатков.

⁷¹ Смотри «Принцип необратимости геологической и биологической эволюции».

⁷² Прогресс [лат. *progressus*] — движение вперед, от низшего к высшему; переход на более высокую ступень развития.

⁷³ Филогения (филогенез) [φυλή (филэ) — род, племя] — процесс развития всех органических форм в течение всего времени существования на земле.

ет одностороннее развитие некоторых органов и частичную редукцию других. Прогрессивная дифференциация при специализации ограничивается теми частями организма, которые связывают его со своеобразными условиями среды обитания.

Отсюда сущность правила Ш. Депере — *группа, вступившая в своей эволюции на путь специализации, в дальнейшем развитии будет обычно характеризоваться усилением специализации в ранее намечавшемся направлении.*

Увеличение размеров тела в филогенетических ветвях («правило Э. Копа—Ш. Депере»⁷⁴).

Общая тенденция к увеличению размера тела в ходе филогенеза была выявлена в конце прошлого столетия американским палеонтологом Э. Копом на основании изучения развития различных групп позвоночных и была высоко оценена уже в начале XX в. французским палеонтологом Ш. Депере.

Правило увеличения размеров тела в филогенетических ветвях как производное от более общего правила прогрессирующих специализаций, подобно последней, является относительным и реализуется лишь при определенных условиях.

Происхождение новых групп от неспециализированных предков (правила Э. Копа). Суть этого положения в том, что новые крупные группы организмов, особенно выходящие на путь арогенеза (т. е. повышение уровня организации), связанный с общим повышением уровня организации, берут свое начало не от высших представителей предковой группы, а от сравнительно примитивных, неспециализированных.

Проблема неограниченности эволюционного процесса

Эволюция неограниченна. Но в каждом конкретном случае ее направление и ее формы определяются той организацией, той природой организма, которые выработались в длительном процессе эволюции и являются результатом всей биотической и абиотической среды и возможностью их освоения организмом.

Проблема направленности эволюционного процесса

Проблема направленности эволюции еще не получила однозначного решения и требует дальнейшей разработки, хотя имеет первостепенное значение для стратиграфии, в частности для установления геологического возраста и синхронизации отложений по уровню эволюции.

⁷⁴ Для теплокровных животных увеличение размеров тела связано с более экономным обменом веществ.

онного развития отдельных форм. Многие исследователи отмечают факты более или менее синхронного преобразования в разных филогенетических ветвях, но с другой стороны известны случаи, когда сходного или близкого уровня эволюционного развития достигают формы, геологически существенно разновозрастные.

Поэтому, подобно другим закономерностям эволюционного процесса, направленность эволюции в отдельных конкретных случаях проявляется в различной степени, а иногда и полностью маскируется. Последнее обстоятельство, однако, нельзя признать достаточным основанием для отрицания направленности эволюции в целом.

Адаптиогенез⁷⁵ и его основные формы

Эволюционный процесс всегда имеет адаптивный характер, обусловленный одним из факторов эволюции — действием отбора. Согласно определению А. А. Парамонова, адаптиогенез должен пониматься как исторический, филогенетический процесс становления и развития приспособлений, характеризующий жизненную форму вида или группы жизненных форм, принадлежащих к конкретным таксонам различного ранга. Адаптиогенез осуществляется под влиянием отбора и проявляется не только в развитии конкретных морфо-физиологических адаптаций, но и генетических, которые заключаются в повышении генетического многообразия.

Арогенез⁷⁶. Под арогенезом понимается такой тип эволюционного развития, при котором происходит усложнение организации, поднимающее ее в целом на более высокий уровень. При арогенезе организмы приобретают адаптации не только полезные для существования в занимаемой ими экологической нише, но и создающие возможность выхода этих форм или их ближайших потомков за пределы данной экологической обстановки.

Аллогенез⁷⁷. Под этим названием понимаются преобразования организма, связанные с некоторыми изменениями среды, имеющие характер частных приспособлений и не представляющие узкой специализации. При аллогенезе, являющемся наиболее обычным типом эволюции, не происходит ни значительного усложнения организации, ни ее упрощения. Аллогенез приводит к повышению численности популяций соответствующих видов — к интенсивной внутривидовой дифференциации на подвиды и экологические расы.

⁷⁵ От слова адаптация [лат. *adaptatio* — приспособливаться] — приспособление строения и функций организмов к условиям существования.

⁷⁶ От слова *airo* — поднимаю (гр.).

⁷⁷ От слова *allos* — другой, иной (гр.).

Телегенез⁷⁸. Под телегенезом принято понимать особый тип адаптиогенеза, при котором возникает специализация организма, обусловленная переходом от общих условий среды к частным, более ограниченным. При телегенезе происходит одностороннее развитие некоторых органов, сопровождающееся частичной редукцией других.

Гипергенез⁷⁹. Представляет собой переразвитие организма, что приводит к нарушению нормальных его соотношений с окружающей средой. В качестве причины — возможное накопление мутаций дезинтегрирующего значения. Чаще всего проявляется в гигантизме, сопровождающемся диспропорцией и неправильной координацией частей организма.

Катагенез⁸⁰. Этот тип эволюционных преобразований характеризуется регрессивными изменениями, связанными с переходом организмов к жизни в упрощенных условиях среды обитания.

Педогенез⁸¹ (**гипогенез**⁸²). Явление закрепленной отбором наследственной неотении (т. е. достижением личинкой половозрелости и способности к размножению с отпадением взрослой стадии). При неотении происходит более или менее значительная деспециализация, что создает возможность для нового прогрессивного развития в любом направлении.

Неравномерность эволюции

Неравномерность эволюционного процесса, заключающаяся в ускорении и замедлении его темпов, не вызывает сомнений и проявляется как в последовательных стадиях развития одной филогенетической ветви, так и в темпах эволюции различных групп организмов. Наиболее наглядно результат неравномерности эволюции органического мира демонстрируется тем разнообразием уровня организации, которого достигли в современную эпоху отдельные типы животных и растений за длительный период их развития на протяжении фанерозоя.

В проблеме неравномерности эволюции существует два аспекта — неравномерность темпов развития одной группы и неравномерность темпов развития различных групп.

8.1.2. Распространение ископаемых организмов в разрезе

Исходным материалом для биостратиграфического анализа являются данные о распределении в разрезе ископаемых остатков организ-

⁷⁸ От слова *tele* — вдалеке, далеко (гр.).

⁷⁹ От слова *hyper* — над, сверх (гр.).

⁸⁰ От слова *kata* — вниз (гр.).

⁸¹ От слова *paidos* — дитя, буквально — детское размножение.

⁸² От слова *hupo* — внизу, снизу, под (гр.).

мов. Последние, за исключением, пожалуй, биогермов и ракушняков, представляют собой включения в слое.

Иногда в разрезе находится очень большое количество остатков организмов (т. е. они содержатся повсеместно от кровли до подошвы), и приводимые определения руководящих форм характеризуют весь слой. Тогда мы имеем место фактического совпадения литологических и биостратиграфических границ.

Но, как правило, фактическое распространение ископаемых остатков в слое не совпадает с его границами, вследствие чего приводимая палеонтологическая характеристика слоя чаще всего относится к какой-либо его части, а совмещение литологических и палеонтологических границ является вынужденной мерой. Но на практике такое совмещение бывает оправданным и обеспечивает очень детальные работы. В то же время иногда такие экстраполяции оказываются результатом недостаточного числа наблюдений, а выводы, сделанные на их основании, опровергаются более тщательными сборами.

При полевых наблюдениях основное внимание уделяется, как правило, макрофауне (флоре). Их остатки можно непосредственно наблюдать в изучаемом разрезе. Любые новые находки органических остатков в отложениях, в которых ранее они не встречались или были представлены малораспространенными комплексами, имеют исключительное значение для биостратиграфии, т. к. это нередко приводит к существенной перестройке сложившихся представлений об истории развития даже крупных областей, геологическое строение которых, казалось бы, достаточно хорошо изучено.

Для поисков и сборов палеонтологического материала следует соблюдать определенные правила:

1. Сборы должны быть по возможности исчерпывающими (т. е. до тех пор, пока в точке сбора перестанут попадаться новые формы).

2. Сборы должны быть массовыми.

3. Находки органических остатков по разрезу должны быть тщательно привязаны к соответствующим слоям, которые должны быть детально задокументированы.

4. При сборах остатков фауны необходимо фиксировать особенности их захоронения.

При сборе образцов на микрофауну и спорово-пыльцевой анализ необходимо знать заранее, в каких породах эти остатки могут быть чаще и в больших количествах.

1. Образцы берут из разреза послойно (снизу вверх). В каждом слое образцы берутся (при достаточной мощности) в подошве, в середине и у кровли. Особенно часто надо отбирать образцы у контактов предполагаемых стратиграфических границ. Масса образца и частота отбора зависит от конкретных обстоятельств и условий отбора проб.

2. Образцы должны быть взяты из отложений на невыветренных участках.

3. В керне скважин образцы необходимо очищать от примазок глинистого раствора.

8.1.3. Биостратиграфические подразделения

Стратиграфические подразделения, выделяемые только на основе палеонтологической характеристики отложений, называются *биостратиграфическими подразделениями*.

Биостратиграфические подразделения — охарактеризованные остатками организмов совокупности горных пород, границы между которыми определяются как эволюционными изменениями отдельных таксонов или комплексов фауны (флоры), так и сменой экологических ассоциаций. Стратиграфические границы этих подразделений должны быть приурочены в разрезах к уровням смены характерных таксонов или комплексов фауны (флоры), в том числе и к датированным.

Выделение биостратиграфических единиц основано на «законе фаунистической сукцессии»⁸³, т. е. на закономерной смене фаунистических или флористических комплексов по разрезу. Эти изменения могут быть обусловлены тремя основными причинами:

1. Эволюционной сменой видов во времени;
2. Сменой физико-географических обстановок, т. е. сменой фаций;
3. Чисто геологическими причинами — перерывами, размывами, регрессиями и т. п.

Очевидно, что каждому из таких изменений будут соответствовать свои биостратиграфические подразделения и что в каждом случае эти подразделения будут характеризоваться определенными свойствами. Очевидно также, что для установления изохронных поверхностей особое значение имеют палеосукцессии, обусловленные эволюционными изменениями, т. к. в любом отрезке филогенетической цепи (в пределах одного бассейна) переход от предкового вида к виду-потомку будет происходить с геологической точки зрения одновременно. В тоже время из этого положения следует, что подобного рода биостратиграфические подразделения должны соответствовать временным интервалам, сопоставимым с длительностью существования отдельных видов. При необходимости выделения стратонов, соответствующих более коротким отрезкам геологического времени, приходится использовать другие методы их становления.

⁸³ Еще раз напомним сукцессия — (от лат. *successio* — последовательность) — закономерная смена биоценозов во времени, не связанная с эволюционными изменениями видов.

Начиная с верхнего докембрия, т. е. отложений, в которых появляются остатки скелетных организмов, и для всего фанерозоя палеонтологические данные используются при обосновании всех стратиграфических групп. Но роль биостратиграфического метода в обосновании стратиграфических подразделений различных групп, категорий и видов неодинакова. Наибольшее, часто решающее, значение в фанерозое он приобретает при выделении общих и региональных подразделений. Этим методом выделяются также стратиграфические подразделения частного обоснования (биостратиграфические зоны всех видов) и некоторые вспомогательные (слои с фауной и флорой).

В обосновании местных стратиграфических (комплексов, серий, свит), а также вспомогательных (литостратиграфических) подразделений биостратиграфический метод используется главным образом для определения возраста и корреляции с подразделениями региональной и общей категорий.

В процессе крупномасштабного геологического картирования с помощью крупных стратонов общей категории — систем, отделов и ярусов — на основе их биостратиграфического содержания осуществляется упорядочение местных картируемых подразделений по возрасту и по положению в общей шкале.

В практике стратиграфических исследований при крупномасштабном геологическом картировании наибольшее значение приобретают дробные подразделения общей категории, для которых их биостратиграфическое содержание является определяющим. Это зоны, а также региональные стратиграфические подразделения всех видов и в некоторых случаях все виды собственно биостратиграфических подразделений (частного обоснования и вспомогательные).

Основной единицей биостратиграфических подразделений является *биостратиграфическая зона*, которая может подразделяться на подзоны, составляющие в сумме полный стратиграфический объем зоны.

Биостратиграфическая зона — это совокупность слоев, которая характеризуется определенным таксоном или комплексом древних организмов (зональный комплекс), отличающимся от таковых в подстилающих и перекрывающих слоях. Она имеет нижнюю и верхнюю границы, установленные биостратиграфическим методом. Географическое распространение биостратиграфической зоны ограничивается ареалом распространения зонального комплекса остатков организмов.

8.1.4. Биостратиграфическая сущность общих и региональных стратонов

Зона (хронозона)

В основу выделения зон общей шкалы, по существу, положены региональные зоны, или лоны (см. ниже), выделенные в стратотипической области и принятые в качестве эталона. В соответствии с этим зональные комплексы органических остатков, присущие стратотипам зон, даже если они пользуются очень широким географическим распространением, ограничены определенными палеобиогеографическими областями или палеоклиматическими поясами.

Характерные комплексы органических остатков некоторых зон, входящих в состав ярусов различных систем, главным образом, силурийской, триасовой, юрской и меловой прослежены на нескольких континентах Земли. Таким образом, слои, их содержащие, являются маркирующими горизонтами, сформировавшимися в одни и те же сравнительно короткие отрезки геологического времени. Общая палеонтологическая характеристика зон определяется не только зональным комплексом стратотипа, но и теми остатками организмов, которые встречаются в других областях, в различных толщах, стратиграфический объем которых определяется стратотипом зоны или стратотипами ее границ. Этим, по существу, определяется хроностратиграфическая сущность зоны, поскольку к ней относятся не только отложения, содержащие зональный комплекс или руководящий вид, но и все те отложения, которые образовались за время существования этого комплекса или руководящего вида.

В качестве наименований (индикаторов) зон обычно принимаются виды (реже роды) представителей ископаемой фауны или флоры, как правило, существовавшие в короткие отрезки времени, но на обширных пространствах и обитавшие в различных обстановках. В практике стратиграфических исследований выявлению таких зональных (руководящих) видов или родов всегда придается большое значение, т. к. они позволяют коррелировать отложения, в которых встречаются, но корреляция по комплексам фауны или флоры более надежна.

Оптимальным вариантом является зональная шкала, построенная на основе эволюционного развития одной группы фауны. Примером может служить шкала граптолитовых зон ордовика и силура или зон по аммонитам юры Великобритании, из которых строится общая зональная схема отложений этого возраста.

Длительность формирования зон общей шкалы в среднем 1—2 млн. лет с редкими отклонениями до 5—6 млн. лет (ордовик, девон). Это свидетельствует о том, что рассматриваемые стратиграфические под-

разделения по времени формирования приблизительно равновелики почти во всех ярусах всех систем фанерозоя. Следовательно, расчленение толщ на зоны методами биостратиграфического анализа позволяет создать такую детальную стратиграфическую схему, которая приблизительно сопоставима по степени детальности (длительности формирования ее подразделений) для всех систем фанерозоя.

В практике крупномасштабного геологического картирования зоны общей шкалы выполняют роль корреляционных единиц, с помощью которых определяется положение картируемых местных стратиграфических подразделений непосредственно в общей шкале. В этом отношении они являются наиболее надежным и детальным инструментом. В тех случаях, когда в местных стратиграфических схемах или в конкретных разрезах картируемых стратиграфических подразделений удастся установить последовательность зон или отдельные зоны, они могут использоваться для корреляции в пределах определенного (картируемого) региона. Наконец в тех случаях, когда по органическим остаткам устанавливаются последовательность зон или отдельные зоны общей шкалы, это может служить указанием на возможность расчленения соответствующих отложений по другим картируемым (литологическим) признакам.

Горизонт и лона

Биостратиграфическая сущность горизонта определяется комплексом органических остатков, характерных для определенного палеобиогеографического⁸⁴ подразделения (обычно провинция, палеобассейн или его часть). В России примерами палеобиогеографических подразделений, для которых разрабатываются региональные стратиграфические схемы, являются палеобассейны Восточно-Европейской и Сибирской платформ, Северо-Востока России, Урала, Алтае-Саянской области и др. Палеонтологическое содержание горизонта складывается из остатков организмов, присущих стратотипу горизонта, и из одновозрастных комплексов, расположенных в пределах соответствующего биогеографического подразделения.

Провинциальные зоны (или лоны) — наименьшие таксономические единицы региональных стратиграфических схем, для которых палеонтологическое содержание является определяющим. Лона может быть разделена на части — подлоны — или вспомогательные стратиграфические единицы — слои с фауной (флорой).

⁸⁴ Палеобиогеография — наука, изучающая географическое распространение животных и растений в геологическом прошлом и его изменения с течением геологического времени.

Лона и горизонт находятся в таких же ранговых отношениях, как зона и ярус в общей шкале. Совокупность нескольких лон составляет горизонт и определяет его полный объем.

В основу выделения лон могут быть положены любые группы фауны и флоры, имеющие стратиграфическое значение: граптолиты, аммоноидеи, двустворки, фораминиферы и др. Во многих случаях лоны своим содержанием оказываются идентичным биоэонам и соответствуют по времени длительности существования *вида* (рода) — *индекса* в пределах определенной палеобиогеографической провинции или области. Комплекс остальной фауны в таких лонах приводится в качестве дополнительных характеристик.

Лоны могут выделяться на основе филогенетического⁸⁵ развития какого-либо определенного рода или семейства и постепенной смены их видов во времени. Такие лоны по своему типу будут филогенетическими.

В состав региональных зональных шкал в некоторых случаях наряду с лонами могут входить зоны общей шкалы. Это бывает в тех случаях, когда зоны и соответствующие им лоны имеют одинаковый с первыми объем, т.е. включают в себя *виды-индексы* общих зон. Присутствие в региональной схеме зон общей стратиграфической шкалы означает, что между различными бассейнами в указанное время существовали широкие связи, физические и климатические барьеры между ними отсутствовали и они принадлежали к одной палеобиогеографической биохории⁸⁶.

Региональная стратиграфическая схема, состоящая из горизонтов и лон, отражает степень биостратиграфического расчленения и корреляции отложений в пределах определенной палеобиогеографической биохории и в тоже время определяет единство соответствующих палеобиогеографических подразделений. В связи с этим необходимо подчеркнуть, что региональные стратиграфические подразделения, в том числе и основанные на биостратиграфическом расчленении, не являются, как иногда считают, временными, использующимися только при

⁸⁵ Филогения (филогенез) [φυλή (филэ) род, племя] — процесс развития всех органических форм в течение всего времени существования жизни на Земле. Филогению следует рассматривать в единстве с онтогенезом. Биологические термины онтогенеза (индивидуальное развитие) и филогения (историческое развитие).

⁸⁶ Биохор — (от греч. *Chora* — страна) — высшие подразделения биоциклов, объединяющие биотопы (место обитания биоценоза или комплекс факторов среды, необходимых для существования определенных организмов или их сообществ) расположенные в одной климатической области. Другими словами — пространство (площадь, ареал) с приемлемыми условиями для расселения соответствующего комплекса организмов.

слабой стратиграфической изученности тех или иных отложений, а также в случае, когда по тем или иным причинам невозможно или затруднительно использовать общие стратиграфические подразделения. **Они равноправные стратиграфические подразделения наряду с подразделениями общей и местной категорий.**

Вспомогательные биостратиграфические подразделения

К таким подразделениям относятся слои с фауной и флорой, которые определяются как отложения, содержащие остатки организмов или сложенные ими. Причем остатки организмов или вовсе не встречаются в подстилающих и перекрывающих образованиях или встречаются сравнительно редко.

Слои с обильными и легкодиагностируемыми палеонтологическими остатками выделяются как маркирующие и в некоторых случаях являются картируемыми стратиграфическими подразделениями. В отличие от других стратиграфических подразделений, определяемых биостратиграфическим методом, такие слои могут быть выделены среди немых отложений, и для них необязательно присутствие органических остатков в подстилающих и перекрывающих отложениях.

8.1.5. Виды биостратиграфических зон

Единственным критерием для выделения зональных биостратиграфических подразделений служит их палеонтологическое обоснование, т.е. присутствие определенного комплекса органических остатков (зонального комплекса), присущего данному стратиграфическому подразделению и отличающегося от комплексов, характерных для ниже- и вышележащих отложений.

В отличие от зон общей категории и лон, все виды биостратиграфических зон не подчинены по рангу ни ярусам, ни горизонтам и выделяются в самостоятельных объемах в зависимости от смены в разрезах фаунистических и флористических комплексов (рис. 4). Исключение составляют те отмеченные выше случаи, когда объемы конкретных биостратиграфических зон принимаются за эталоны соответствующих зон общей шкалы или лон.

Существуют различные виды биостратиграфических зон: (рис. 5)

1. **Зона распространения таксона (биофона)** — совокупность слоев, охватывающих полный стратиграфический интервал распространения какого-либо таксона;

2. **Зона совместного распространения** — слои, отвечающие совпадающим частям интервалов стратиграфического распространения двух выбранных таксонов;

Система	Отдел	Ярус	Зона	Горизонт	Лона	Серия	Свита	Биостратиграфические зоны			
	Верхний	В	Вв	IV	IV3	3	8	м'	и''		
			Вб		IV2		7	л'			
			Ва		IV1		6	к'			
					III4	2	5	и'	?		
		Б	Бб	III	III3			е''			
					III2				з'		
					III1		ж'				
			Ба		4		е'				
	Нижний	А	Аб	II		1	2	3	д'	д''	
			г'					в'	г''		
			Аа	I	I2			в''	б''		
					I1			б'		а''	
								1	а'		

Рис. 4. Схема соотношения общих (система — зона), региональных (горизонт, лона), местных (серия, свита) и зональных (биостратиграфические зоны) стратиграфических подразделений

3. **Филозона** — слои, в которых распространен таксон (таксоны), представляющие собой отрезок конкретной филогенетической линии или тенденции (тренд) развития этой линии;

4. **Интервал-зона** — слои, заключенные между первым появлением какого-либо характерного таксона (обычно вида-индекса) данной зоны и первым появлением характерного таксона (обычно вида-индекса) вышележащей зоны в пределах непрерывной последовательности; интервал-зоны могут выделяться и как слои, заключенные между уровнями исчезновения характерного таксона подстилающей зоны и характерного таксона рассматриваемой зоны;

5. **Акмезона (эпибола, эпиболь)** — отложения, в которых зональный вид особенно часто встречается, т. е. соответствующие времени его расцвета в силу благоприятных условий или отвечающие времени скопления органических остатков при захоронении.

6. **Комплексная зона** — отложения, охарактеризованные определенным комплексом ископаемых остатков организмов, отличным от комплексов подстилающих и перекрывающих отложений (иногда именуется оппель-зоной).

Биостратиграфические зоны могут быть провинциальными или местными в зависимости от пределов распространения соответствующих таксонов, комплексов фауны и флоры. Местные зоны базируются на

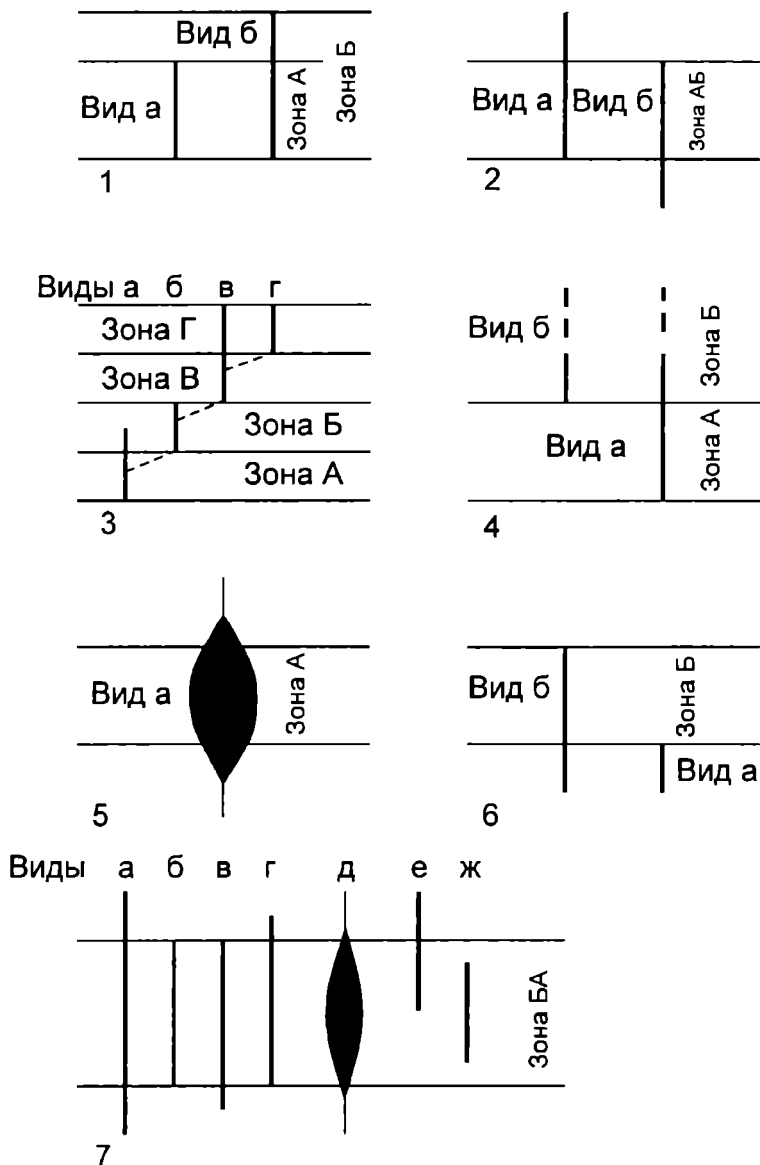


Рис. 5. Биостратиграфические зоны (Стратиграфический кодекс, 1992).

1 — зона распространения таксона (биозона); 2 — зона совместного распространения;
3 — филозона; 4, 6 — интервал-зона; 5 — акмезона (эпибола); 7 — комплексная зона

анализе стратиграфического распространения эндемичных⁸⁷ таксонов или ранее не использовавшихся для зонального расчленения групп фауны или флоры.

Границы биостратиграфических зон разных видов, а также границы зон одного вида, установленные по различным группам фауны и флоры, чаще всего не совпадают. Такие несовпадения происходят в силу особенностей биологической организации различных групп фауны и флоры, эволюционирующими разными темпами, по разному реагирующими на изменение среды и приспосабливающимися к ней.

В литературе существует еще ряд подразделений биостратиграфических зон. Например, экозона — отложения, содержащие комплекс ископаемых органических остатков, представляющих собой либо прижизненную экологическую ассоциацию, либо тафономические⁸⁸ особенности ориктоценоза⁸⁹. Границы экозон подчеркивают не столько эволюционное развитие соответствующих групп ископаемых организмов, сколько изменение эколого-фациальных условий в конкретном бассейне.

Границы экозон, выделенных по разным группам фауны или флоры, совпадают, если они обусловлены одними и теми же изменениями эколого-фациальных условий в конкретном бассейне, и если организмы разных групп реагируют на эти изменения одинаково.

Биостратиграфические подразделения всех видов используются для корреляции отложений в пределах определенной местности, фациальной зоны, региона, а также для определения возраста вмещающих отложений. Наибольшее значение имеют те зоны, границы которых считаются **изохронными**⁹⁰. В практике стратиграфических исследований обычно приходится сталкиваться с понятиями тейльзона, ранговые (range) зоны и экозоны и т. д., границы которых зависят от эколого-фациальных условий, перерывов и других внешних факторов. Корреляция с помощью таких подразделений возможна лишь на ограниченной площади, по существу, в тех пределах, в которых не удастся установить отклонение этих границ от других уровней, принимающихся за изохронные.

⁸⁷ Эндемики [ἐνδημοί (*endemos*) — местный] — организмы, распространенные в узкоограниченном районе.

⁸⁸ От слова тафоценоз — [τάφος (*taphos*) — могила (греч.)] комплекс погребенных осадками остатков мертвых организмов и следов их жизнедеятельности.

⁸⁹ [ὀρικτοί (ориктос) — ископаемое; κοινός (кэнос) — общий] «ископаемое сообщество», т. е. сохранившаяся в ископаемом состоянии группировка самых различных по происхождению остатков организмов.

⁹⁰ [ἴσος (игос) — равный] — одновременные.

8.1.6. Расчленение отложений биостратиграфическим методом

Основные стратиграфические операции — расчленение разрезов, их корреляция (т. е. сопоставление частных разрезов в пределах одного района) и датировка (т. е. сопоставление удаленных разрезов, в том числе и расположенных в разных регионах, путем сравнения со стандартным разрезом или стандартной последовательностью хроностратиграфических подразделений) очень тесно связаны между собой.

В основу расчленения отложений биостратиграфическим методом положен принцип выделения в местных разрезах биостратиграфических подразделений, или стратиграфических подразделений комплексного обоснования при установлении которых в той или иной степени используется палеонтологический метод. Практически это осуществляется определением в местном разрезе рубежей, на которых происходит изменение состава ископаемых остатков организмов, и выделением отложений, содержащих характерные комплексы органических остатков. Намеченная таким образом последовательность смены органических остатков или их комплексов в изучаемом разрезе и служит основанием для его расчленения биостратиграфическим методом.

Комплексы ископаемых остатков, характерные для того или иного биостратиграфического подразделения, представлены формами, поразному распределяющимися в разрезе и имеющими различное стратиграфическое значение.

Среди них могут быть (рис. 6):

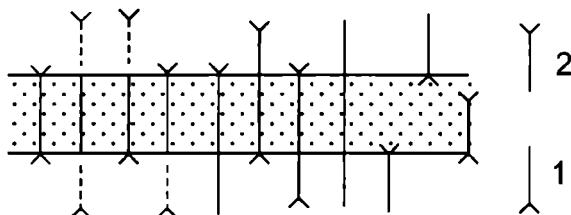


Рис. 6. Вертикальное распространение различных таксонов по отношению к границам стратиграфического подразделения (по Д. Л. Степанову и М. С. Месежникову).
1 — появление; 2 — исчезновение таксона

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

2) формы, встречающиеся преимущественно в данном стратигра-

фическом подразделении, а также редко в ниже- и вышележащих отложениях. 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. Сочетание таких форм имеет большое значение 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. Эти формы не имеют стратиграфического значения и могут быть лишь использованы для общей характеристики соответствующего стратиграфического подразделения.

В практике биостратиграфических исследований при расчленении отложений встречаются и используются все эти случаи. Наибольшее значение для установления границ биостратиграфических подразделений имеют рубежи массового появления, а иногда и массового исчезновения (обусловленного вымиранием) таксонов, поскольку эти границы, помимо того что они фиксируются эволюционным развитием определенных групп фауны и флоры, связаны обычно с крупными геисторическими этапами: трансгрессиями и регрессиями бассейнов, изменениями климата и др. Поэтому с подобными границами часто соотносятся границы стратиграфических таксонов регионального значения — горизонтов и лон, а иногда и подразделения общей шкалы.

Предпочтение при проведении биостратиграфических границ обычно отдается не исчезновению в разрезах тех или иных форм, связанному с их вымиранием, а появлению или массовому распространению отдельных таксонов, сообществ или их комплексов. Последнее особенно важно, т. к. часто только при массовом распространении и широком расселении соответствующие формы или комплексы приобретают определенное корреляционное значение.

В некоторых случаях первое появление в разрезах определенных таксонов (руководящих или зональных) служит основанием не только для проведения границ, но и для выделения соответствующих биостратиграфических подразделений. Полный объем таких подразделений определяется интервалом, ограниченным уровнями появления зональных таксонов двух смежных зон (рис. 7). Так выделяются многие зоны, лоны и биостратиграфические подразделения по конодонтам. Этот метод широко используется при расчленении мезозойских и современных отложений океанов по микрофауне.

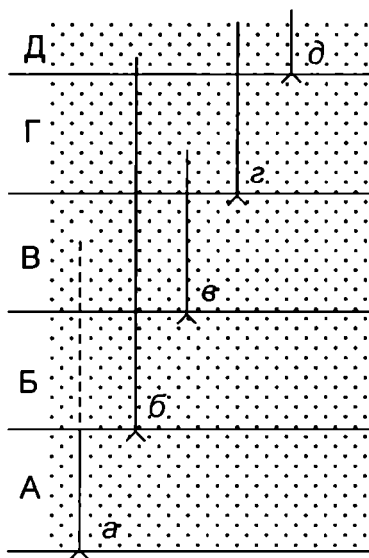


Рис. 7. Схема расчленения отложений по первому появлению зональных таксонов. а—д — уровни появления зональных таксонов; А—Г — биостратиграфические зоны (по Д. Л. Степанову и М. С. Месежникову)

Наиболее надежно расчленение отложений по фауне или флоре осуществляется в том случае, когда оно опирается на изменения в составе комплекса, обусловленные необратимостью эволюции фауны или флоры, т. е. на филогенетическую основу. В наиболее чистом виде они проявляются в однородных по вещественному составу толщах, свидетельствующих о стабильности условий осадконакопления, на фоне которых эволюционирует та или иная группа фауны или флоры. Особенно ценно в этом отношении изу-

чение последовательности в пределах отдельных таксонов ортостратиграфических групп, если в результате удастся наметить смену фаунистических зон, отражающую эволюцию соответствующей группы организмов.

В одинаковых по типу осадков отложениях, несколько раз повторяющихся в разрезе, могут встречаться однотипные или близкие по составу комплексы ископаемых. Такое явление, объясняющееся миграцией фауны вслед за миграцией фаций в бассейне, называется **рекурренцией**, а сами фауны — рекуррентными. Однако при внимательном изучении в рекуррентных фаунах удастся установить различия, обусловленные эволюционным процессом, и в природе любое биостратиграфическое подразделение несет запечатленные в составе фауны или флоры признаки, отражающие влияния среды, и свидетельства необратимости эволюции. Задача биостратиграфии — выявить эти признаки и дать им надлежащую оценку.

При разработке местных стратиграфических схем, основанных на выделении биостратиграфических подразделений, обычно используются те группы фауны и флоры, которые широко распространены в районе и быстро меняются в вертикальном разрезе.

Наряду с такими важными для детальной стратиграфии представителями, как аммоноидеи, граптолиты, планктонные фораминиферы, часто используются бентосные фораминиферы, тинтиниты, кальпионеллы, радиолярии, корраллы, брахиоподы, двустворки (бухии, монотисы, галобии, рудисты, иноцерамы), брюхоногие, трилобиты, острако-

ды, морские ежи, конодонты, позвоночные, нанопланктон, споры и пыльца растений, отпечатки листьев, древесина и т. д.

Таким образом, биостратиграфический метод для разработки детальной стратиграфии не имеет каких-либо ограничений в использовании групп фауны и флоры. Он позволяет надежно обосновать последовательность в разрезе зон общей шкалы и региональных зон или лон, биостратиграфических зон, а в ряде случаев еще более тонких стратиграфических подразделений — подзон или слоев с фауной.

Детальность расчленения отложений биостратиграфическим методом зависит главным образом от скорости накопления расчленяемых отложений и от темпов изменения состава фауны или флоры, по которым она осуществляется. Чем выше скорость осадконакопления (и соответственно мощность отложений) за период времени, фиксируемый по изменениям выбранной для расчленения отложений группы, тем больше будет минимальная мощность, на которую удастся расчленить отложения биостратиграфическим методом⁹¹. Чем быстрее сменялось во времени население (популяция видов) бассейна осадконакопления, тем детальней можно осуществить расчленение его осадков по ископаемым органическим остаткам. Наиболее дробное расчленение отложений обычно удается осуществить по ортостратиграфическим группам фауны и флоры. Но в некоторых случаях с не меньшей детальностью оно может быть осуществлено по другим группам. При расчленении осадочного чехла платформ, скорость накопления осадков которого в большинстве случаев была меньше, чем в складчатых структурах, мощности зональных биостратиграфических подразделений обычно не превышают нескольких или первых десятков метров, тогда как в последних мощности обычно составляют десятки — сотни метров.

Под **датировкой** осадочных образований понимается определение возраста слоев в любом регионе в геохронологических единицах общей шкалы и выделение здесь стратиграфических подразделений общей шкалы. В операционном плане под датировкой понимается сопоставление любого частного разреза со стандартной колонкой общей стратиграфической шкалы. Специфика датировки состоит в том, что прослеживаются не любые изохронные уровни, а только некоторые, заранее установленные и являющиеся границами стандартных подразделений общей шкалы (рис. 8).

⁹¹ На самом деле это не всегда так. Особенно при использовании микрофауны (а иногда и макрофауны). Так, при высокой скорости осадконакопления терригенных отложений остатки животных организмов часто бывают «сильно разбавлены» терригенным материалом, что очень затрудняет выделение соответствующих объектов для полноценного биостратиграфического изучения и т. д. Так как скорость осадконакопления и количество, и качество ископаемых остатков в основном не связанные друг с другом явления [Л.С.]

Стратотипический район

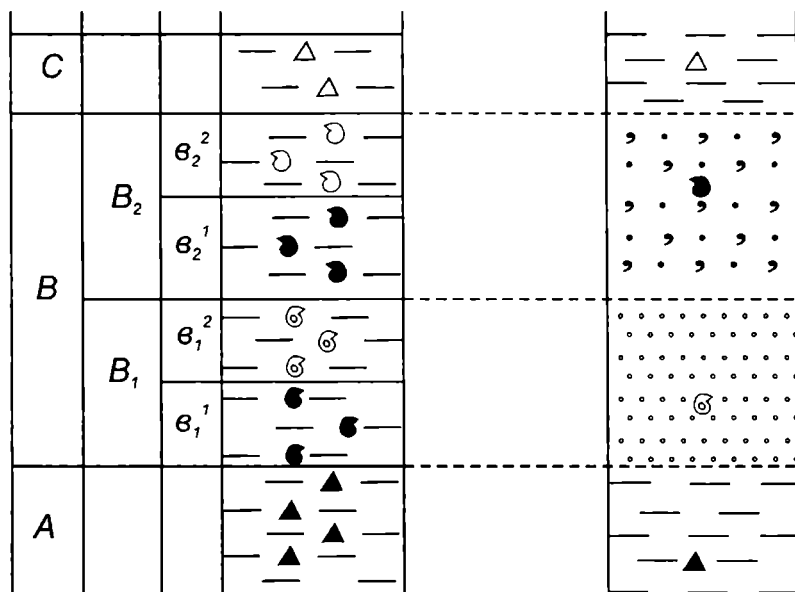


Рис. 8. Принципиальная схема датировки осадочных толщ (по Д. Л. Степанову и М. С. Месежникову). Выделение подъярусов B₁ и B₂ в районе достаточно удаленном от стратотипа

Датировка включает две операции:

1. **Установление** (констатация) присутствия в изученном разрезе отложений какой-либо системы или какого-либо отдела, яруса и т.п.

2. **Выделение** (прослеживание) соответствующих подразделений общей шкалы, т. е. определение границ отделов, ярусов, зон в конкретных разрезах.

Вторая операция является основной для биостратиграфии.

Главным образом ярусы, а более дробные подразделения исключительно могут устанавливаться лишь с учетом ортостратиграфических групп. Парастратиграфические группы привлекаются главным образом для прослеживания подразделений общей шкалы в конкретных разрезах. Когда необходима четкая фиксация границ, это можно выполнять только непосредственно по ортостратиграфическим группам или опосредствованно. Для этого используют парастратиграфические группы, предварительно сопоставив их положение и объем относительно первых.

8.1.7. Корреляция и определение относительного возраста отложений биостратиграфическим методом

Биостратиграфическая корреляция основана на сходстве комплексов органических остатков, характерных для существующих стратиграфических подразделений. Она осуществляется на основе отдельных руководящих форм или на общности комплексов органических остатков (рис. 9) в их стратиграфической последовательности. Относительный геологический возраст отложений определяется корреляцией соответствующих отложений с общей шкалой.

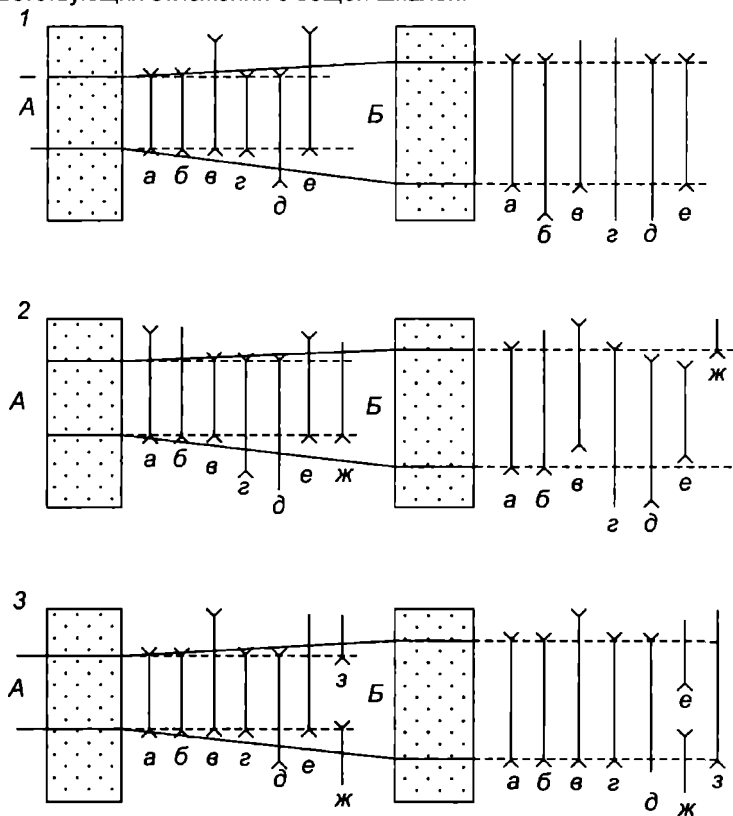


Рис. 9. Корреляции стратиграфических подразделений (А, Б) (по Д. Л. Степанову и М. С. Месежникову).

1 — по распространению руководящего таксона а; 2 — по совместному нахождению таксонов а, б, в, г, д; 3 — по комплексу признаков: по распространению таксонов а, б, г, по появлению на нижней границе таксона в, по исчезновению на верхней границе таксона д, т. е. по совместному нахождению всех этих таксонов

Первым среди методов биостратиграфической корреляции, как по времени своего возникновения, так и по влиянию, которое он оказал на развитие стратиграфии, является **метод руководящих форм**⁹². Суть метода состоит в том, что корреляция отложений проводится по находкам строго определенных ископаемых, которые приурочены к одновозрастным слоям.

При определенной простоте метода корреляции по руководящим формам достоверность его весьма ограничена, т. к. трудно избежать ошибок в определении истинного диапазона стратиграфического распространения отдельных таксонов. Время появления или исчезновения разных видов, родов или целых групп фауны и флоры в разных палеобассейнах или в их частях может не совпадать. Это, естественно, объясняется их различной биологической организацией, неодинаковой скоростью миграции и, главное, различной способностью к адаптации в одних и тех же условиях. Примеров этому более чем достаточно.

Биостратиграфическая корреляция осуществляется не всегда непосредственно с помощью общих форм, а через промежуточные комплексы, отдельные формы которых в разных провинциях или областях встречаются обычно раздельно. Палеобиогеографические районы, в пределах которых присутствуют смешанные комплексы фауны и флоры, называются **экотонами**. Они располагаются на границах разных палеобиогеографических провинций или областей, например между Тетическим⁹³ и Бореальным⁹⁴ поясами (областями). Границы и степень выраженности экотонов постоянно менялись в течение геологического развития регионов. Это определяло специфику биостратиграфической последовательности в подобных районах.

Для биостратиграфических схем экотонов нередко характерно чередование лон (или ряда лон) с разным по типу составом фауны (в нашем примере Тетическими и Бореальными типами) или присутствие лон со смешанным комплексом фаун. Экотоны имеют первостепенное значение для межрегиональных корреляций и позволяют сопоставлять, например, разрезы бореальных и тетических районов, т. е. нередко региональные схемы с общей шкалой.

Соответствие картируемого местного стратиграфического подразделения тому или иному подразделению региональной или общей шкал

⁹² Научное обоснование метод получил в середине XIX в. благодаря трудам Г. Бронна, который ввел понятие о руководящих формах и составил первый в мире атлас руководящих форм беспозвоночных.

⁹³ От слова Тетис [гр. *Thetis*] — в древнегреческой мифологии — богиня моря Фетида — система древних морских бассейнов (MZ-KZ) в пределах Средиземноморского геосинклинального пояса.

⁹⁴ От слова Борей [гр. *Boreas*] — в древнегреческой мифологии — бог северного ветра, т. е. относящийся к странам умеренного климата Сев. полушария.

обычно определяется общностью комплекса органических остатков, обнаруженных в местном подразделении, и комплекса, характерного для того или иного регионального или общего стратиграфического подразделения.

При более строгом подходе к корреляции или определению соответствия картируемых стратиграфических подразделений общим или региональным стратиграфическим подразделениям необходимо не только установить общность комплексов органических остатков в этих подразделениях, но и сопоставить их границы. Для этого обычно выявляются границы подразделений региональной или общей шкалы в конкретных разрезах на картируемой территории. При этом рубежи смены комплексов органических остатков, определяющие границы региональных и общих стратиграфических подразделений, могут совпадать и не совпадать с границами картируемых местных стратиграфических подразделений.

Корреляция одних и тех же разрезов по распределению одного таксона (или группы) может отличаться от корреляции по другим таксонам или группам. Обычно отдают предпочтение ортостратиграфическим группам, таким, как граптолиты, аммониты, планктонные фораминиферы и др. Считается, что корреляция по этим группам наиболее достоверна и строится с наименьшими погрешностями, несмотря на то, что распространение (расселение) этих групп в действительности происходит в какие-то интервалы времени. Этим приходится пренебрегать и принимать коррелятивные уровни по ортостратиграфическим группам условно за изохронные.

Более достоверна **корреляция отложений по комплексам фауны или флоры**. Основанная на анализе стратиграфического распространения большого числа таксонов, она как бы нивелирует возможные ошибки в определении стратиграфического распространения отдельных форм. Наиболее достоверна корреляция отложений в результате сопоставлений одинаковых последовательностей органических остатков, их комплексов или биостратиграфических подразделений. Корреляция таких последовательностей будет тем точнее, чем точнее удастся сопоставить стратиграфические границы соответствующих подразделений (в их последовательности) — рубежи, на которых меняются соответствующие комплексы органических остатков или появляются новые таксоны в филогенетических рядах.

Метод комплексов имеет большое значение и для анализа полноты разрезов. Степень преемственности в систематическом составе комплексов является очень хорошим индикатором размывов и перерывов.

Эволюционный метод. Под этим методом понимается корреляция, основанная не на присутствии в сравниваемых фаунистических комплексах одинаковых форм, а на уровне эволюционного развития, харак-

теризующего рассматриваемый комплекс или какую-либо группу форм, входящих в состав этого комплекса. Иначе говоря, корреляция проводится по сходным стадиям развития. Этот метод имеет особое значение для предварительной корреляции разрезов, при сопоставлении не тождественных, а лишь сходных или подобных по составу фаун далеко отстоящих регионов и основан на установлении закономерности филогенеза той или иной группы и соотношений между онтогенезом⁹⁵ и филогенезом. При этом определяется время появления ряда морфологических признаков, а сами признаки, следовательно, приобретают биостратиграфическое значение.

Особенности использования микропалеонтологических объектов для биостратиграфической корреляции. Широкое использование для целей биостратиграфии микропалеонтологических объектов — фораминифер, радиоларий, конодонтов, кокколитофорид, тинтинид, спор и пыльцы и т. д. — и биостратиграфические выводы, основанные на их изучении, послужили основой для корреляции осадочных толщ многих регионов земного шара, в первую очередь для закрытых нефтегазоносных бассейнов.

Такое быстрое и плодотворное внедрение микропалеонтологии в стратиграфию прежде всего связано с размерами объектов, что особенно важно для керна материала, получаемого с большими затратами и зачастую в ограниченном количестве.

Микропалеонтологический материал благодаря своим размерам распространяется в разрезе скважин практически равномерно (в отличие от редких находок макрофауны, да и то не всегда удовлетворительного качества) и непрерывно и, как правило, представлен хорошо сохранившимися формами. Процедура выделения и прослеживания комплексов фораминифер, радиоларий, нанопланктона, конодонтов и т. д. не имеет особой специфики. Несколько особое место занимает использование для целей стратиграфии результатов спорово-пыльцевого анализа, несмотря на то, что палинология имеет очень большое потенциальное значение при биостратиграфическом анализе. Трудности связаны, во-первых, с тем, что споры и пыльца часто оказываются переотложены, так как зачастую выступают в роли мельчайших осадочных частиц, и, во-вторых, разная продуктивность растений, различная способность спор и пыльцы к переносу разными способами (ветром, водными потоками и даже морскими течениями) настолько искажает первичный состав спорово-пыльцевых комплексов, что их соотнесение с конкретными ландшафтами, а главное про-

⁹⁵ [ov (on), род. пад. óntos (ontos) существо] — индивидуальное развитие живого существа, охватывающее все изменения, претерпеваемые организмом от стадии оплодотворения яйца (споры) до конца жизни.

слеживание на значительные расстояния вызывает большие сомнения. Кроме того, до сих пор существуют проблемы методического и систематического характера.

8.1.8. Экостратиграфический метод (экостратиграфия)⁹⁶

В настоящее время это самый динамично развивающийся в биостратиграфии метод, что неудивительно на фоне всеобщего интереса к проблемам экологии. Данный метод основан на изучении палеоэкосистем, что чрезвычайно обогащает как биостратиграфию, так и биологию массой новых фактов и значительным количеством неизвестных ранее соотношений.

Под экостратиграфией понимают:

- усиление роли палеоэкологических наблюдений и палеоэкологического анализа при биостратиграфических исследованиях;
- выделение фациально-зависимых стратонов, имеющих заведомо диахронные⁹⁷ границы;
- установление причинной связи геологических явлений и, таким образом, создание естественной стратиграфической классификации как альтернативы хроностратиграфии.

Палеоэкологические исследования особенно важны для палеогеографических и палеобиогеографических построений. Однако существенное значение имеют и для стратиграфии, т. к. фациальные изменения нередко приводят к тому, что строго одновозрастные отложения охарактеризованы существенно различными фаунистическими комплексами, и напротив, отложения заведомо разнофациальные содержат очень близкие или даже тождественные ассоциации фауны.

Детальные и комплексные палеоэкологические исследования позволяют выявить индивидуальные особенности отдельных слоев и пачек и на этой основе проводить послойную корреляцию близкорасположенных разрезов. Естественно, применение для этих целей обычных биостратиграфических методов, основанных на постепенной смене видов, невозможно, т. к. коррелируемые слои накапливаются часто в течение кратких отрезков времени, несопоставимых по своей продолжительности с временем существования видов.

Для послойной корреляции разрезов используются **биостратинOMICES** исследования, выполняемые путем анализа литологических особенностей слоев (характер конкреций и включений, тип слойчатости, наличие или отсутствие размывов на контакте слоев и пачек, нали-

⁹⁶ Едва ли стоит рассматривать ее отдельно, а не в составе биостратиграфии (палеонтологического метода).

⁹⁷ От греческого слова δια (día) — через, сквозь. Буквально — сквозные.

чие или отсутствие следов жизни) и их палеонтологической характеристики (число видов бентоса, количество экземпляров отдельных видов и их соотношение в слое и т. п.). Данные исследования особенно важны для проведения обоснованных стратиграфических корреляций в пределах отдельных многопластовых месторождений нефти и газа.

Количественные методы корреляции. Необходимость учета большого числа таксонов при сопоставлении осадочных толщ и стремление к объективной оценке комплексов заставили биостратиграфов обратиться к разному рода статистическим оценкам состава фаунистических и флористических комплексов. Пионером такого подхода был Ч. Лайель.

Существуют многочисленные попытки применения математических методов, математической статистики, введения разных коэффициентов в биостратиграфии, в целом ни один из них не получил всеобщего признания и поэтому в практике биостратиграфических исследований их не применяют.

8.1.9. Периодичность и этапность в развитии организмов и значение этих явлений для стратиграфии

В развитии органического мира в целом и отдельных групп и филумов⁹⁸ наблюдаются две категории явлений — периодичность и этапность. К первой относятся периодические изменения численности популяций и специфики формообразования, связанные обычно с положением в седиментационном цикле. Явления этапности отражают общий ход эволюционного развития и не всегда имеют отчетливо выраженную периодичность, проявляясь главным образом в возникновении переломных моментов филогенеза и изменении темпов эволюционного процесса. В литературе эти явления нередко смешиваются.

Периодичность в развитии фауны впервые была установлена и изучена на материале замкнутых и полужамкнутых бассейнов, где она проявляется с наибольшей отчетливостью. Хотя явления периодичности развития признаны как важный критерий для разработки региональной стратиграфии, однако в открытых седиментационных бассейнах явления периодичности улавливаются с трудом или же вообще не проявляются. Поэтому синхронизация стратиграфических рубежей, установленных на основе периодичности, связана с колоссальными, если не сказать непреодолимыми трудностями. Поэтому периодичность не может быть применена для определения объема и границ хроностратиграфических подразделений общей шкалы.

Этапность развития органического мира в целом и эволюции отдельных филумов принципиально отличается от периодичности, т. к.

⁹⁸ Филум — генетический ряд организмов.

представляет собой планетарное явление, которое не следует смешивать с последовательной сменой комплексов в разрезах отдельных областей. Этапность развития отдельных групп устанавливается, прежде всего, на филогенетической основе с учетом мирового распространения соответствующей группы. Переломные моменты в филогенезе группы и являются основным критерием выделения и разграничения отдельных этапов ее эволюции. Вторым критерием могут служить изменения темпов эволюции группы.

Общие положения этапности:

- Этап — это определенное звено эволюции таксонов, имеющих общее происхождение и присущие им направления и темпы развития.

- Этапы распадаются на стадии: 1) становления или медленного (постепенного) развития; 2) адаптивной радиации⁹⁹ или расцвета; 3) вымирания и появления новых элементов, характерных для следующего нового этапа.

- Рубежи этапов и подчиненных им стадий определяются обычно ароморфными¹⁰⁰ преобразованиями различного масштаба, в то время как в пределах отдельных этапов и стадий эволюция протекает преимущественно инадаптивно.

- Темпы эволюции по этапам и в пределах их неравномерны; они обычно нарастают в первую половину этапа и снижаются к концу его.

Внешние процессы могут осложнить реальную картину этапности эволюционного процесса, накладывая свой отпечаток. Однако они не могут обусловить само возникновение этапности, и в этом главное принципиальное отличие явлений этапности от периодичности развития, которая обусловлена, прежде всего, периодичностью изменений окружающей среды. Развитие организмов и развитие земной коры напрямую не связаны друг с другом. Это два совершенно особых явления.

Поэтому этапность в развитии органического мира не может непосредственно использоваться при практическом определении стратиграфических границ подразделений общей шкалы.

8.1.10. Биостратиграфическое значение различных групп фауны и флоры

В связи с неодинаковыми темпами эволюции различные группы фауны и флоры имеют различное значение для биостратиграфии. Наибольшее значение для биостратиграфических целей имеют **ортостра-**

⁹⁹ Адаптивная радиация — эволюция родственных групп организмов, осуществляющаяся в разных направлениях и связанная с их приспособлением к различным условиям существования.

¹⁰⁰ Т. е. улучшающими, повышающими уровень.

тигграфические (или архистратиграфические) группы¹⁰¹, которые быстро эволюционировали и также быстро распространялись по площади (суши или моря). По ним строятся дробные зональные схемы биостратиграфического расчленения, используемые для самой широкой корреляции.

Парастратиграфические группы¹⁰² используются обычно для определения возраста в более широком диапазоне (т. е. менее точно) или для разработки местных стратиграфических схем, в которых собственно биостратиграфическое расчленение сочетается с литостратиграфическим из-за того, что они эволюционировали медленно.

Многие группы фауны не имеют стратиграфического значения. Как правило, это или длительно развивающиеся группы, или те, находки которых можно отнести к уникальным событиям.

Для каждого периода обычно устанавливаются одна или две ортостратиграфические группы, на которых строится дробное биостратиграфическое расчленение соответствующих систем. Остальные группы при этом имеют вспомогательное значение (рис. 10).

Простейшие (Protozoa). Это группа наиболее распространенных микрофаунистических комплексов. Стратиграфическое значение имеют главным образом фораминиферы и радиолярии.

Фораминиферы (Foraminifera) используются для дробного (зонального) расчленения каменноугольных, пермских, мезозойских и кайнозойских отложений России. Они наиболее обильны в тонкодисперсных терригенных и органогенных осадочных породах и уменьшаются в количестве по мере «погрубления» породы. Очень важны для биостратиграфии планктонные фораминиферы.

Радиолярии (Radiolaria) используются главным образом в стратиграфии мезозойских отложений, но в последнее время установлено, что они могут найти применение и в стратиграфии палеозойских отложений, начиная с кембрия. По ним уже сейчас можно расчленить эти отложения до отделов, а иногда до ярусов. Особенно важное значение приобретают радиолярии при изучении кремнистых (яшмовых) толщ, в которых нередко присутствуют только органические остатки. Остатки радиолярий встречаются во всех типах морских отложений, но наилучшей сохранности они бывают в тонкодисперсных терригенных породах.

Археоциаты (Archaeocyatha). Являются одной из важнейших групп фауны в биостратиграфии низов кембрия. Археоциаты — строители ор-

¹⁰¹ Граптолиты, археоциаты, трилобиты, гониатиты, аммониты, планктонные фораминиферы, конодонты и т. д.

¹⁰² Брахиоподы, мшанки, губки, сверлящие и зарывающиеся двустворчатые моллюски, и др.

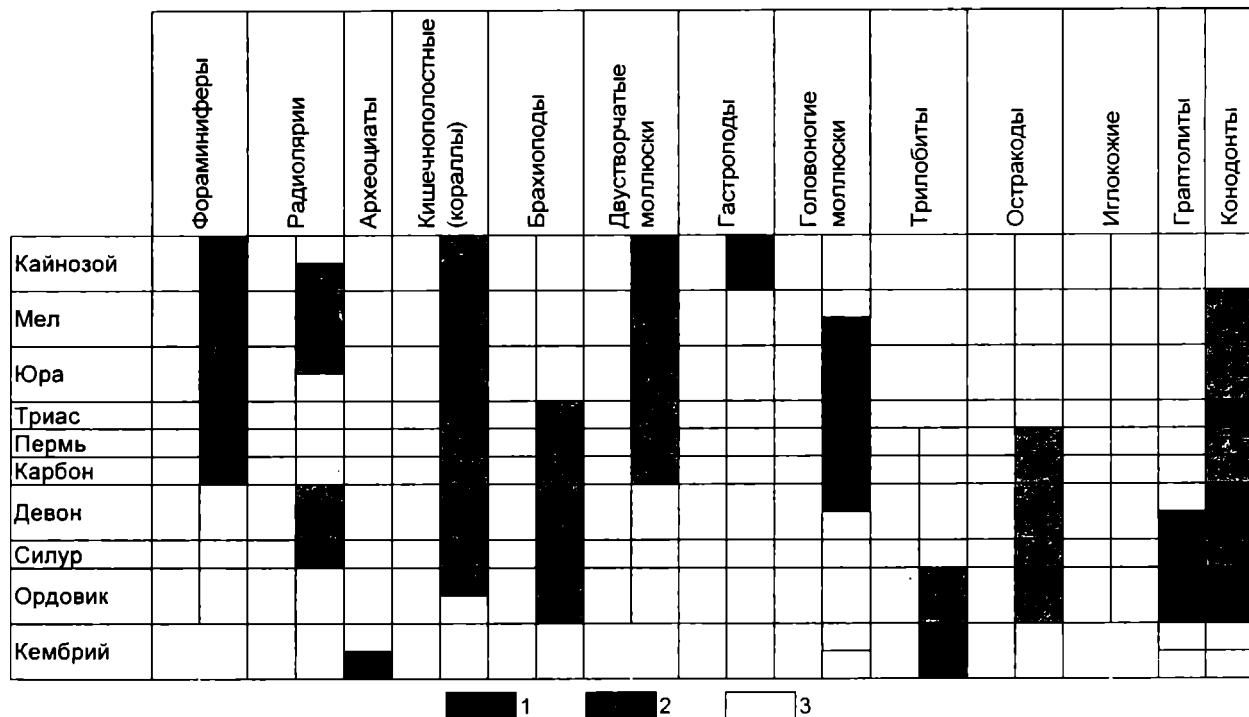


Рис. 10. Стратиграфическое значение главных групп морских беспозвоночных в фанерозое (Практическая стратиграфия).
 Группы: 1 — используемые для корреляции с общей шкалой, 2 — применяющиеся в региональной стратиграфии, 3 — используемые для местной стратиграфии

ганогенных построек и служат главным образом для корреляции и расчленения карбонатных отложений.

Кишечнополостные (Coelenterata). Из этой группы наиболее важны кораллы (табуляты, гелиолитиды, ругозы). Их стратиграфическое значение, как правило, ограничивается региональными и местными схемами.

Брахиоподы (Brachiopoda). Являются одной из наиболее распространенных групп ископаемой фауны и играют важную роль в региональной стратиграфии палеозойских отложений. На основании их выделяются горизонты в региональных биостратиграфических шкалах ордовика, силура и особенно девона, карбона и перми. В мезозое стратиграфическая ценность брахиопод снижается.

Моллюски (Mollusca). Наибольшее стратиграфическое значение приобретают в конце палеозоя и в мезозое.

Двустворчатые моллюски (Bivalvia). Появляются в раннем палеозое и могут использоваться для расчленения отложений с точностью до систем и отделов, а начиная с карбона применяются в детальной стратиграфии. В мезозойских отложениях они обычно составляют наибольшую часть фаунистических комплексов. Их значение велико для разработки региональных и особенно местных стратиграфических схем отдельных седиментационных бассейнов (СБ) и их частей. В мезозое по своей стратиграфической значимости они приближаются к такой ортостратиграфической группе, как аммониты.

Брюхоногие моллюски (Gastropoda). Не играют существенную роль в биостратиграфии палеозоя и мезозоя и, как правило, используются лишь наряду с другими группами фауны. Несколько большее значение приобретают для кайнозоя.

Головоногие моллюски (Cephalopoda). Являются важнейшей группой фауны, на которой строится биостратиграфическое расчленение всех систем мезозоя.

Гониатиты (Goniatitidae), несмотря на свою редкую встречаемость, представляют собой важнейшую группу фауны для стратиграфии девонской, каменноугольной и пермской систем. Их комплексы являются определяющими в характеристике большинства ярусных подразделений этих систем, а в некоторых случаях используются для зонального расчленения.

Аммониты (Ammonitidae) Для морских отложений мезозоя (начиная с верхнего триаса) аммониты являются главной (ортостратиграфической) группой фауны, позволяющей наиболее детально их расчленять, определять возраст и проводить широкие межрегиональные корреляции. На них строится зональное расчленение отложений от верхней перми до мела крупных регионов, отвечающих целым зоогеографическим областям.

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

Трилобиты (Trilobita). Это наиболее важная ортостратиграфическая группа для кембрия. На них базируется зональное расчленение всех биостратиграфических схем этой системы. Для ордовика они еще сохраняют свое значение, но уже в качестве составной части фаунистических комплексов, характеризующих региональные стратиграфические подразделения, а начиная с силура они его практически утрачивают.

Остракоды (Ostracoda). Распространены по всему фанерозою. Определенное стратиграфическое значение остракоды приобретают начиная с ордовика, но особенно важны при корреляции и расчленении девонских и каменноугольных отложений, в которых они чрезвычайно многообразны и многочисленны.

Иглокожие (Echinodermata). В большинстве случаев они не имеют самостоятельного биостратиграфического значения.

Граптолиты (Graptolithida). Являются ортостратиграфической группой в ордовике, силуре и нижнем девоне. По ним разработаны подробные схемы зонального расчленения общих стратиграфических подразделений, составляющие основу стратиграфии этих систем. Они используются также для корреляции и определения возраста главным образом терригенных отложений региональных и местных стратиграфических подразделений.

Конодонты (Conodonts). Эта группа приобрела исключительное значение в стратиграфии палеозоя. Наиболее многочисленны и разнообразны конодонты в ордовикских, верхнедевонских и триасовых отложениях. По ним разработаны схемы зонального расчленения всех систем палеозоя.

Тетраподы (Tetrapodes)¹⁰³. Имеют важное значение для стратиграфии континентальных отложений от верхнего палеозоя до кайнозоя. Особенно велико их значение для изучения континентальных образований перми, триаса (особенно) и кайнозойских отложений.

Остатки растений. Имеют универсальное значение для стратиграфии отложений всех возрастов.

Отпечатки растений имеют значение для стратиграфии континентальных отложений от среднего палеозоя до кайнозоя. Особенно велико их значение при изучении угленосных отложений.

Палеопалинология является универсальным методом, т. к. пыльца и споры служат хорошим критерием для корреляции. Использование метода иногда осложняется случаями переотложения спор и пыльцы или вымыва их в более древние отложения. Метод не обладает доста-

¹⁰³ Сборная группа наземных позвоночных, начиная с амфибий и кончая млекопитающими.

точной точностью датировок возраста, но все же позволяет коррелировать отложения от докембрия до четвертичного периода.

Водоросли микроскопические. В основном изучаются диатомовые, золотистые и жгутиковые водоросли, объединяемые общим понятием «нанопланктон», динофлагелляты и докембрийские водорослевидные образования.

Большое стратиграфическое значение в настоящее время приобретают и другие представители нанопланктона — акритархи, особенно для древних (докембрийских и палеозойских) отложений. Также очень важное стратиграфическое значение придается известковому нанопланктону, под которым понимаются разнообразные планктонные организмы или их скелетные остатки размером до 30—50 мкм. Нанопланктонные зональные шкалы мела, палеогена по детальности и надежности сравнимы со шкалами, основанными на планктонных фораминиферах, и уверенно позволяют производить расчленение и глобальную корреляцию морских отложений.

8.1.11. Случаи, осложняющие применение палеонтологического метода в стратиграфии

Все возникающие трудности использования палеонтологического метода обусловлены двумя причинами:

1. Отсутствие или недостаточность палеонтологических данных, т. е. бедность рассматриваемых отложений окаменелостями или плохой их сохранностью, не допускающей точного определения.

2. Комплексы ископаемых необычного или аномального состава. При всем разнообразии причин, вызывающих образование подобных комплексов, они могут быть сведены к двум главным причинам:

— характерные особенности аномального ориктоценоза являются первичными и они возникли еще в процессе формирования соответствующей биоты.

— группа фаунистических и флористических комплексов аномального состава обязана своим возникновением не процессам развития соответствующей биоты, а явлением переноса остатков организмов до их захоронения или переотложениям окаменелостей, вымытых из более древних отложений.

Осложняющие факторы первичного характера

Осложняющие факторы эволюционного характера.

Затруднения в этом случае могут быть связаны с возникновением «симулирующих форм», т. е. сходных форм организмов, которые появляются в разных филогенетических ветвях и в разное время.

Такие формы могут появляться за счет явлений конвергенции и параллелизма.

Конвергенция — приобретение сходных признаков неродственными организмами в сходной среде. В этом случае сходство возникает за счет сходной среды обитания, различия за счет неродственного происхождения. При конвергенции сходные изменения происходят в немногих органах, обычно сходство касается внешнего облика (рыбы, дельфины, ихтиозавры).

Параллелизм — независимое приобретение сходных признаков родственными организмами (сходство за счет общности происхождения и условий). Это явление широко распространено в органическом мире и создает более серьезные трудности, чем конвергенция. При параллельном развитии близкородственных форм возникает более глубокое сходство. А если симулирующие формы в разных филогенетических ветвях появляются в разное время, на различных стратиграфических уровнях, то это становится причиной серьезных ошибок при определении возраста.

Осложняющие факторы, связанные с расселением.

Эндемичные формы и комплексы. Для стратиграфии наибольший интерес представляют формы, имеющие широкое распространение (обширные ареалы), особенно при удаленных корреляциях. Но в природе нередки формы с узким ареалом распространения — эндемики, присутствие которых затрудняет стратиграфическую корреляцию. Возникновение эндемиков может происходить двумя путями. В одном случае — за счет сокращения первично обширного ареала древней вымирающей группы. Представители этой группы сохраняются в убежищах, в результате изоляции — на островах или во внутренних частях гор. Такие организмы называются палеоэндемиками, или реликтовыми эндемиками.

В геологическом прошлом эндемизм имел широкое распространение. В таких случаях (по эндемичным формам) возраст устанавливается за счет форм, имеющих более широкое распространение, или по переходным комплексам.

Суперститовые формы и комплексы. Так называются формы древнего облика, находящиеся в более молодых отложениях, чем те, для которых они обычно характерны, что, естественно, может ввести в заблуждение.

Рекуррентные фауны. Под рекурренцией понимают повторное появление одних и тех же форм (комплексов) на разных стратиграфических уровнях. Это происходит вместе с повторением условий (фаций), благоприятных для определенных фаун.

Гетерохронное распространение форм и комплексов. Это явление связано с расселением фаун. Время появления (первое появление

ние) одних и тех же комплексов будет отличаться в разных областях. Появляются фауны (и флоры) в одном месте, а затем расселяются по другим территориям.

Переотложенные ископаемые органические остатки

Случаи нахождения переотложенных ископаемых органических остатков можно свести к следующим основным типам: 1) переотложенные глыбы и обломки пород, содержащие ископаемые остатки организмов; 2) переотложение ископаемых и их комплексов; 3) нахождение во вторичном залегании ископаемых, переотложенных из более молодых отложений, вмыв.

Смешанные фаунистические и флористические комплексы обусловлены **конденсацией** разрезов. Если фаунистические и флористические ассоциации представляют собой смешанные комплексы ископаемых, характеризующиеся совместным присутствием в одном слое разновозрастных форм, которые в условиях нормального разреза встречаются в нескольких последовательно залегающих фаунистических или флористических зонах, то это чаще всего может быть обусловлено явлением конденсации разреза, или «сгущения» зон.

Редуцированные разрезы характеризуются резким сокращением мощности отдельных членов разреза при сохранении их самостоятельности. Иногда такие разрезы также называют «конденсированными (condensed¹⁰⁴)», что является не вполне подходящим (рис. 11).

1. В качестве конденсированного разреза в собственном смысле слова следует понимать случаи совместного нахождения в одном слое представителей, характерных для нескольких различных, хотя и близких по возрасту, зональных комплексов фауны и флоры

2. Явление конденсации разреза в вышеприведенном понимании может быть вызвано замедленным, хотя в общем непрерывным, осадконакоплением в условиях так называемых «голодающих бассейнов» (starved basins¹⁰⁵).

3. Конденсация разреза может возникать также в результате прерывистого осадконакопления, сопровождавшегося частичным растворением (размывом) ранее образовавшегося осадка.

4. От конденсации разреза в строгом понимании этого термина следует отличать явление редуцированного разреза, характеризующегося

¹⁰⁴ См. раздел «Секвентная стратиграфия».

¹⁰⁵ В американской геологической литературе данное выражение употребляется для обозначения осадочных бассейнов, характеризующихся более маломощным разрезом отложений по сравнению соседними областями, вследствие того, что скорость погружения была значительно большей, чем скорость осадконакопления.

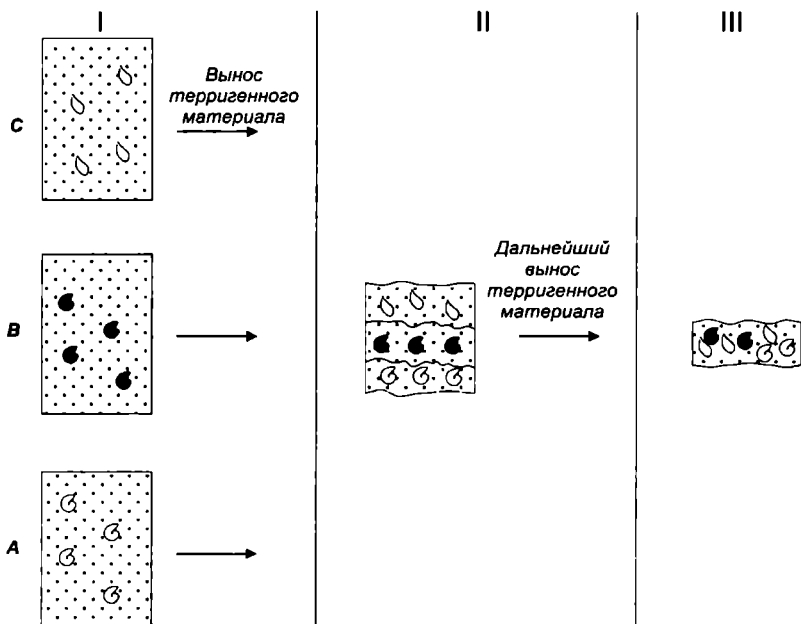


Рис. 11. Схема формирования конденсированных слоев (по Д. Л. Степанову и М. С. Месежникову)

аномально малой мощностью отдельных биостратиграфических горизонтов при отсутствии смешения зональных форм, присущих различным стратиграфическим уровням.

5. Фаунистический комплекс (ориктоценоз) конденсированного слоя часто представляет собой ассоциацию ископаемых, не отражающих состава прижизненного сообщества (биоценоза). В подобных ориктоценозах могут присутствовать геологически разновозрастные элементы¹⁰⁶.

Турбидиты. Значительная роль в образовании смешанных как гетерофацциальных, но разновозрастных, так и разновозрастных комплексов органических остатков, принадлежит турбидным, т. е. мутьевым или суспензионным, потокам. Их отложения — турбидиты — широко распространены на дне современных океанов, где образуются обычно на глубинах свыше 2000 м.

Глубоководные турбидиты нередко содержат переотложенные остатки мелководной фауны и наземной флоры, снесенные мутьевыми потоками с прилегающих поднятий.

¹⁰⁶ Подобные ассоциации ископаемых остатков получили название «сете-tery» — кладбище.

8.2. Литостратиграфия (литологический метод)

Литологические критерии являются ведущими при установлении границ и определения объема местных стратиграфических подразделений, т. к. только они одни, как правило, содержат наглядные, хорошо устанавливаемые непосредственно на месте признаки, по которым выделяются и прослеживаются эти подразделения.

Выделение в разрезах и последующее прослеживание характерных слоев или определенных их группировок является наиболее распространенным методом как при геологическом картировании обнаженных (открытых) районов, так и при изучении закрытых территорий по материалам горных выработок. Суть метода состоит в том, что изучаемый разрез делится определенным образом исходя из состава, окраски, текстуры, характера включений и т. п. на ряд слоев, пачек или свит, отличающихся по этим признакам от выше- или нижележащих подразделений. Затем установленные стратоны прослеживаются последовательно все далее и далее от исходного разреза до тех пор, пока такое прослеживание оказывается возможным.

Слои выделяются по составу (песчаники, аргиллиты и т. п.), пачки и более крупные подразделения объединяют по какому-нибудь одному характерному признаку. Например, пласт можно выделить по составу, при этом слоистость будет меняться как по разрезу, так и по простиранию.

Пример расчленения и корреляции двух разрезов, удаленных друг от друга, приведены на рис. 12, где А, Б, С — коррелируемые свиты.

Принципиальная возможность выделения примерно изохронных границ местных стратонов обеспечивается объективным существованием крупной периодичности и неповторимостью эволюции осадконакопления, закономерной сменой внутри циклов динамических комплексов или трансгрессивной, инундационной¹⁰⁷, регрессивной и эмерсивной¹⁰⁸ стадий, отвечающих по объему этим подразделениям, а также наличием более мелких циклов внутри стадий.

К числу основных литологических критериев относятся:

- изменения в разрезах осадочных толщ петрографических типов пород и их минералогических особенностей, характера слоистости и других текстурных параметров, первичной окраски, состава конкреций, остатков организмов;
- изменения характера цикличности¹⁰⁹ строения разреза;

¹⁰⁷ Инундация — максимум трансгрессии.

¹⁰⁸ Эмерсия — максимум регрессии.

¹⁰⁹ Цикл [от гр. *kuklos* — круг] совокупность взаимосвязанных явлений, процессов, образующих законченный круг развития в течение какого-либо промежутка времени. Циклический — совершающийся циклами; составляющий цикл.

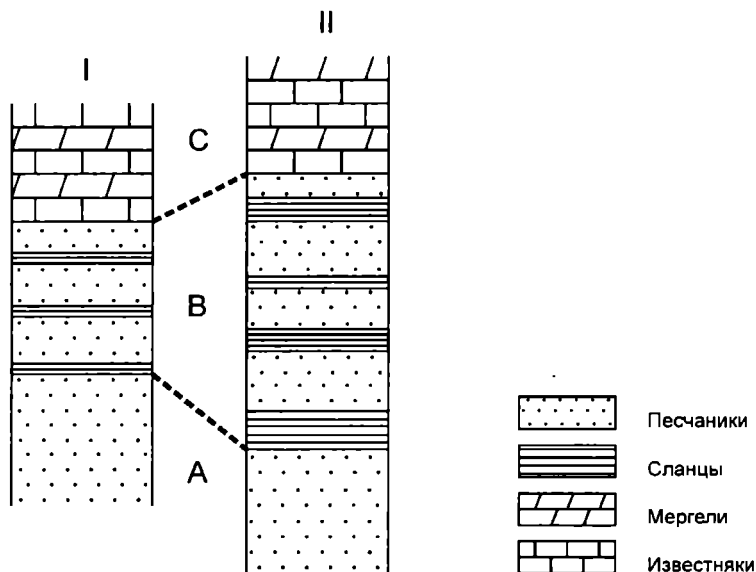


Рис. 12. Пример расчленения и корреляции двух удаленных разрезов

- наличие перерывов осадконакопления.

И как обобщение всех этих данных — смена литогенетических типов отложений, обусловленная сменой соответствующих им фациальных обстановок. Палеонтологические остатки при литологическом расчленении разрезов и выделении местных стратонов используются главным образом в качестве характерного компонента вещественного состава пород и одного из наиболее важных показателей палеогеографических условий осадконакопления.

Нередко литологические критерии расчленения сводятся лишь к обобщенным различиям петрографического состава смежных толщ. Подобное обеднение литологического метода приводит к значительным ошибкам при прослеживании местных подразделений — свит (подсвит), серий, комплексов. В этих случаях возникает потребность в выделении более дробных, вспомогательных единиц — слоев, пакетов, пачек и др.

Общей особенностью местных (литостратиграфических) подразделений является их внутреннее единство — принадлежность к какому-либо литогенетическому типу отложений и соответственно к определенной фациальной палеообстановке, по смене которых и проводятся границы этих подразделений. В иерархической системе местных стратонов должны иметь место преемственность и последовательная дета-

лизация литолого-фациальных признаков, по которым устанавливается каждое из подразделений.

Следует помнить о том, что даже внутри одного района сходные условия могут возникать (существовать) одновременно. За счет этого границы свит при прослеживании их на значительном расстоянии не будут строго одновозрастными. Это явление достаточно широко распространено и носит название «диахронности» границ, или «возрастное скольжение границ»¹¹⁰. Проще всего это можно показать на примере образования трансгрессивных или регрессивных толщ (рис. 13).

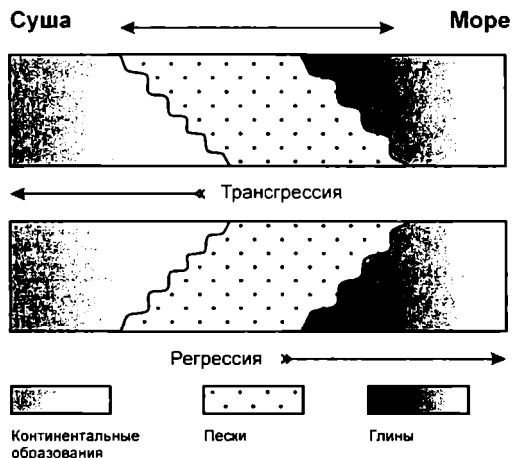


Рис. 13. Пример образования трансгрессивных и регрессивных толщ

В случае трансгрессии происходит «омоложение свиты» от центра бассейна к его периферии. В случае регрессии соотношение будет обратным.

В достаточно контрастных разрезах, характеризующихся многопорядковой цикличностью, расчленение разрезов преимущественно связано с выделением свит. Свиты выделяются как элементы крупных (обычно 3-го порядка, считая от элементарных) циклитов, как комплекс отложений, сформировавшийся в определенной зоне древнего седиментационного бассейна (СБ). Подсвиты выделяются по подчиненным основному признаку критериям. Пакеты могут быть выделены в объеме элементарных циклов, или мезоциклитов¹¹¹. В пачки могут быть выделены элементы

¹¹⁰ См. принцип Н. А. Головкинского.

¹¹¹ [μέσο (mesos) — средний, промежуточный] — первая составная часть сложных слов, обозначающая среднюю величину или промежуточное положение чего-либо.

конкретных циклитов. И чем подробнее подразделение, тем более однородно оно в фаціальном и литологическом отношении.

Для расчленения монотонных толщ без четко проявленной цикличности строения или литологической дифференцированности используется способ расчленения по маркирующим горизонтам. Выявление литолого-фаціальных различий, сколь незначительны бы они были, всегда существенно облегчает опознание свит. Маркирующими горизонтами могут служить любые хорошо опознаваемые, выдержанные по простиранию, маломощные слои, существенно отличающиеся от основной массы пород.

Для расчленения однообразных по строению мощных толщ кремнистых, терригенных или карбонатных пород, в которых выделение свит невозможно, в качестве картируемых местных стратонев могут быть установлены либо зоны по биостратиграфическим (обычно микропалеонтологическим) данным, либо толщ по геохимическим, геофизическим и другим критериям.

В зарубежной геологической практике в качестве картируемых местных подразделений широко используются формации, выделяющиеся исключительно по литологическим признакам, которые «...секут временные границы, границы распространения ископаемых организмов и границы других стратиграфических подразделений», т. е. имеют разный возраст в разных местах распространения и, таким образом, казалось бы, принципиально отличаются от свит.

Приемы описания и изучения литологических характеристик осадочных толщ даны в ряде фундаментальных работ и в курсе лекций по литологии, поэтому в настоящей главе рассматривается только их роль при выделении тех или иных стратиграфических подразделений.

8.2.1. Петрографический состав

Петрографический состав отложений — это одна из главных характеристик, по которой проводится выделение местных стратиграфических подразделений.

При более сложном петрографическом составе смежных толщ, и особенно при наличии постепенных переходов между ними, проведение границ связано с определенными трудностями. Наиболее часто границы местных подразделений проводятся по появлению каких-либо характерных петрографических разновидностей пород. Слой, по которому проводится граница, должен легко опознаваться в поле и хорошо прослеживаться. В силу этого он не всегда соответствует первому появлению в разрезе данной петрографической разновидности. Переходную пачку, где уже наблюдаются отдельные элементы нового состава, принято относить к нижнему из двух смежных подразделений.

В циклично построенных толщах стратиграфическое разграничение местных стратонтов может проводиться по изменению соотношений петрографических типов пород в составе элементарных циклов. Четкого разграничения степени литологических отличий для выделения разных таксонов местных подразделений привести нельзя, т. к. они специфичны для различных типов отложений разных геоструктурных зон.

8.2.2. Слоистость

Слоистость также служит одним из основных критериев расчленения и прослеживания осадочных толщ. Под слоем понимается геологическое тело, сложенное петрографически однородным материалом, ограниченное более или менее плоскими поверхностями наложения. Однородность петрографического состава в пределах слоя относительна.

Мощность слоев может быть различна от первых сантиметров до нескольких метров, но обычно не превышает 1 м. Различно и распространение их по площади.

Не целесообразно выделение слоев по совершенно различным признакам, в зависимости от детальности и целей исследования. Интервалы разреза, объединенные какими-либо минералогическими признаками, содержащие определенные остатки организмов, полезные ископаемые и т. п. следует именовать терминами свободного пользования — пласты, толщи, горизонты определенного состава и привязывать их к слоям как естественным элементарным подразделениям осадочных толщ.

Главным в определении границ слоя является наличие четких поверхностей наложения. 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 наложения — быстрому, скачкообразному изменению условий седиментации.* Изменение условий седиментации может быть связано с самыми разными процессами.

Постепенный переход по латерали одного слоя в другой имеет место при отсутствии эрозионных контактов и не исключает выклинивания отдельных слоев при приближении к области сноса.

Концепция слоеобразования, основанная на вышеупомянутом принципе, позволяет проводить катенный¹¹² анализ, с помощью которого можно преодолевать фациальные барьеры и послойно сопоставлять

¹¹² От древнегреческого слова катена — цепь.

отложения разных фациальных зон, прослеживая разновозрастные, но различные по составу катены слоев. Для проведения такого анализа необходимы послойное описание и сопоставление полных разрезов изучаемого стратиграфического интервала в пределах всей его мощности, а не по отдельным маркирующим горизонтам, комплексность наблюдений с учетом изменения всех литологических особенностей, характера захоронения органических остатков.

Различия в характере слоистости смежных толщ, обусловленные изменениями тектонического режима и обстановок осадконакопления, обычно устойчиво сохраняются в пределах одной или даже нескольких структурно-фациальных зон. Это позволяет широко использовать их для выделения и прослеживания местных подразделений.

Помимо традиционной трактовки слоистости как текстуры осадочных толщ, т. е. способности делиться на слои, под слоистостью понимается также внутренняя текстура слоев, для которых Н. Б. Вассовичем были введены специальные термины «слоичатость¹¹³» и «слоеватость¹¹⁴», весьма широко применяемые в геологической литературе и практике. Учет слоичатости и слоеватости при стратиграфических исследованиях позволяет предвидеть степень выдержанности по площади тех или иных слоев, оценивать направленность фациальных и, наконец, выделять местные подразделения по этим признакам.

8.2.3. Окраска

Первичная окраска осадочных толщ, отражая особенности вещественного состава пород и физико-химические условия осадконакопления, является одной из самых наглядных их особенностей. Для стратиграфических целей представляет интерес как унаследованная (т. е. обусловленная цветом обломочных компонентов пород), так и сингенетическая¹¹⁵ (т. е. связанная с окраской аутигенных¹¹⁶ минералов цемента) окраска.

¹¹³ Слоичатость представляет собой первично-горизонтальное или наклонное расположение слоев и их серий в пределах слоя.

¹¹⁴ Слоеватость проявляется в петрографически однородных слоях и выражается в различной наклонной или горизонтальной ориентировке уплощенных компонентов породы: галек конгломератов, слюистых минералов, растительного детрита, скелетных обломков организмов и др.

¹¹⁵ Сингенетический (сингенетичный) [σιν (син) — вместе] — совместно или одновременно образовавшийся.

¹¹⁶ Аутигенный — образовавшийся на месте нахождения (in situ).

8.2.4. Перерывы в осадконакоплении

Перерывы в осадконакоплении выражены несогласиями¹¹⁷ и являются наиболее четкими рубежами, по которым устанавливаются границы местных стратиграфических подразделений. Распознавание и учет неполноты геологической летописи чрезвычайно важны также для прослеживания и корреляции этих стратонов.

Наиболее четкая морфологическая классификация перерывов предложена К. Данбаром и Дж. Роджерсом (рис. 14). Согласно этой схеме различаются: 1) несогласное перекрытие слоистыми толщами пород фундамента; 2) угловое структурное несогласие между слоистыми толщами; 3) параллельное несогласие, предполагающее совпадение элементов залегания контактируемых толщ, наличие ярко выраженной эрозионной поверхности между ними и срезание ряда слоев нижней толщи; 4) скрытое несогласие, сопровождающееся выпадением какой-либо части разреза. В отдельных случаях наличие такого несогласия может быть установлено биостратиграфическими методами, часто же этого сделать не удастся и перерыв фиксируется следами разрушения литифицированного осадка.

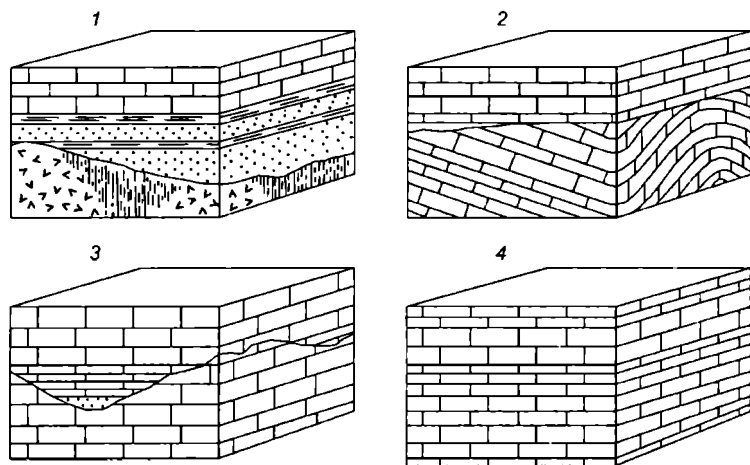


Рис. 14. Типы несогласий (по К. Данбару, Дж. Роджерсу).

1 — несогласное перекрытие (*nonconformity*); несогласия: 2 — угловое (*angular unconformity*), 3 — параллельное (*disconformity*), 4 — скрытое (*paraconformity*)

¹¹⁷ Несогласие может быть эрозионным — наличие поверхности размыва, стратиграфическим — выпадение некоторых горизонтов, тектоническим — угловое несогласие и литологическим — изменение минерального состава пород.

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

8.2.5. Цикличность¹¹⁸

Повторяемость близких по составу и направленности изменений стратифицированных толщ в осадочной оболочке Земли известна давно и уже более 100 лет используется в целях расчленения и корреляции этих отложений. 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 вещественного состава, смене трансгрессивной или регрессивной направленности процессов седиментации и т. д.

Итак, характерной особенностью отложений, которые называются циклическими, является повторение в разрезе литологических элементов (рис. 15).

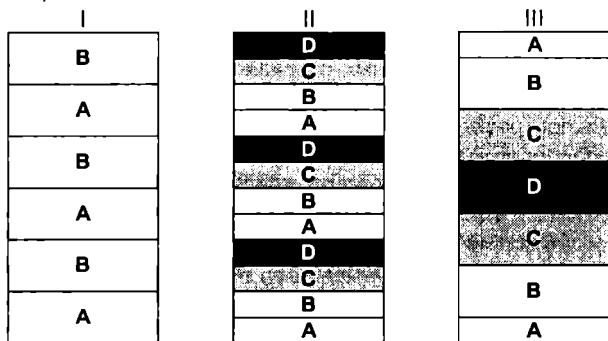


Рис. 15. Типы циклически построенных разрезов

¹¹⁸ Некоторыми авторами использование цикличности (ритмичности) для стратиграфических целей рассматривается как отдельный метод — ритмостратиграфия (циклостратиграфия). Мы же будем рассматривать стратиграфическое значение цикличности (ритмичности) в рамках литологического метода.

Весьма существенная роль цикличности для корреляции определяется относительной синхронностью циклитов на значительных площадях, что, в свою очередь, обусловлено региональной, а иногда и планетарной природой этого явления, связанной с изменениями климата, эвстатическими колебаниями уровня моря¹¹⁹, тектоническими колебательными движениями и проявлением фаз складчатости.

Под циклом понимается «...единичный последовательный ряд членов либо связанных между собой явлений. В цикле выделяются фазы, стадии, этапы». Цикл может быть единичным, но обычно сходные процессы повторяются во времени, что дополняет свойства цикличности. **Ритмичность**, в отличие от цикличности, обязательно предусматривает равномерную одинаковую повторяемость периодических явлений. Ритмичность — это частное проявление цикличности. Для вещественного выражения цикличности Ю. Н. Карогодиным предложен термин «циклит». Он считается наиболее удачным. Иерархическая система циклов и, соответственно циклитов может вводиться с указанием порядков (I, II, III и т. д.). Нумерацию их удобнее вести от наименьших единиц (элементарных циклитов) к более крупным. Такая система обозначений хорошо определяет начало отсчета.

Расчленение отложений на основе анализа их циклического строения

Критерии выделения циклитов разного порядка в своей основе отличаются от критериев выделения картируемых местных стратиграфических единиц: свит, подсвит, слоев, пакетов, пачек и др. В соответствии со Стратиграфическим кодексом России все перечисленные стратонами состоят из ограниченных по разнообразию комплексов горных пород, характеризующихся определенной общностью фациального состава. Циклостратиграфические подразделения, наоборот, в общем случае 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.

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

¹¹⁹ Эвстатические колебания уровня моря — изменение уровня моря в Мировом океане, происходящее в результате развития или таяния ледяных покровов, вытеснения вод накапливающимися осадками или по другим нетектоническим причинам.

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.

Границы элементарных циклитов целесообразно проводить по наиболее четким рубежам.

Циклиты II порядка (мезоциклиты) состоят из набора микроциклитов или нескольких пачек сравнительно однородных пород с определенной направленностью их изменений.

Циклиты III порядка (макроциклиты) образованы рядом мезоциклитов или набором относительно однородных по внутренней структуре толщ.

Циклиты IV (мегациклиты) и V (магнациклиты) порядков используются для выделения свит главным образом в паралических отложениях.

Корреляция отложений по циклам осадконакопления

Существующие методики корреляции осадочных отложений по цикличности в значительной степени зависят от типа отложений, положения их в схеме фациальной зональности палеобассейнов и разработаны с различной полнотой для разных типов толщ.

Наиболее эффективно в качестве ведущего метода для корреляции флишевых и флишеидных толщ, ленточных глин и соленосных отложений применяется анализ пространственного распределения различных порядков цикличности. Общими положениями для корреляции наборов повторяющихся в разрезе разновидностей пород, 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.

Корреляция по цикличности мелководно-морских и лагунно-морских карбонатных отложений предполагает проведение типизации отложений по первичным седиментационным признакам: минеральному составу, структуре, слоистости, поверхностям наложения толщ, остаткам фауны и флоры, наличию диагенетических конкреций и т. п.

Монотонные карбонатные, сульфатно-карбонатные, кремнисто-сланцевые толщи, в которых не обнаруживают закономерные повторения сходных литологических разновидностей, расчленяются при выявле-

нии в них скрытой периодичности. Она может быть установлена на основании геохимического распределения элементов и соотношения породообразующих минералов.

8.2.6. Корреляция по терригенным компонентам

Корреляция немых осадочных толщ по терригенным компонентам проводится с учетом данных по тяжелым, легким минералам и отдельным минеральным видам с детальным изучением типоморфных¹²⁰ особенностей минералов.

При корреляции по минералогическим данным используются «характерные», или «руководящие», минералы, ассоциации (комплексы) минералов, встречающиеся в одном каком-либо интервале или толще и отсутствующие в других, и вместе с тем являющиеся устойчивыми на значительных по размерам площадях. Другими словами, используются минералы (или комплексы минералов), содержание которых по вертикали сильно меняется (до полного исчезновения), но вместе с тем постоянно в каких-либо горизонтах на значительной площади.

Можно провести аналогию между «руководящими» минералами или ассоциациями и руководящими окаменелостями или фаунистическими комплексами, только не следует забывать, что последние уникальны в истории развития Земли, а ассоциации минералов, конкреции и другие минералогические признаки могут повторяться. Правда, и здесь нельзя говорить о простом повторении (тождественности), т. к. условия осадконакопления тоже существенно меняются с течением времени.

Возможность корреляции по терригенным компонентам основана на закономерной связи между тектогенезом и осадконакоплением, а также на закономерностях формирования рельефа.

Самый простой частный пример — когда при размыве суши на прилегающем к ней дне морского (водного) бассейна отлагаются осадки с минеральными ассоциациями, расположенными в обратном порядке: более молодые верхние толщ суши дают материал для наиболее нижних — древних слоев осадка и наоборот. Более подробные примеры можно найти в «Петрографии осадочных пород» Н. В. Логвиненко.

Корреляция по терригенным компонентам возможна только в пределах одной и той же терригенно-минералогической провинции¹²¹, т. е.

¹²⁰ Т. е. типичных (характерных) для определенных условий образования.

¹²¹ Терригенно-минералогическими, или простыми терригенно-минералогическими провинциями называются области седиментации (как современные, так и ископаемые), охарактеризованные одним комплексом легких и тяжелых минералов и связанные с одной питающей провинцией. Под сложной терригенно-минералогической провинцией понимают области, получающие свой материал из нескольких питающих провинций (В. П. Батулин, 1937).

в отложениях, образовавшихся за счет размыва одного и того же комплекса горных пород и содержащих одну и ту же ассоциацию обломочных минералов.

Осложняющим фактором при корреляции осадочных толщ в пределах одной терригенно-минералогической провинции является дифференциация вещества в процессе переноса и отложения, а также наличие терригенно-минералогических фаций¹²³.

Корреляция по терригенным компонентам невозможна без учета цикличности седиментации.

8.3. Геологические методы оценки относительного возраста

Принципы (законы) относительной геохронологии сформулированы в XVIII в. Дж. Геттоном:

- «Закон пересечений»: секущая магматическая порода всегда моложе той породы, которую она пересекает.
- «Закон включений»: включение всегда древнее вмещающей породы.

8.3.1. Определение относительного возраста магматических пород

Ввиду того, что магматические породы не содержат органических остатков, их относительный возраст определяется косвенным путем исходя из взаимоотношений с осадочными породами¹²³.

При определении относительного возраста слоистых вулканических и вулканогенно-осадочных пород применяются общие принципы стратиграфии (принцип Н. Стенона, принцип Гексли, принцип С. В. Мейена), т. к. по характеру залегания и взаимоотношению с осадочными породами они принципиально не отличаются от последних. Чаще всего их возраст определяется исходя из возраста подстилающих и перекрывающих осадочных пород, содержащих остатки ископаемой флоры и фауны.

Сложнее определить возраст интрузивных пород и дизъюнктивных нарушений. Интрузивные породы в большинстве случаев прорывают осадочные толщи, могут располагаться между слоями вмещающих по-

¹²² Фации терригенно-минералогические (Пустовалов, 1940) — парагенезы обломочных минералов, возникающие в стадии седиментогенеза под влиянием механической дифференциации вещества и тесно связанные с размерными фракциями и типами осадков.

¹²³ В данном случае мы сознательно опускаем возможность применения палеомагнитного и радиологического метода.

род или пересекать их. В этих случаях возраст интрузивных пород будет моложе возраста вмещающих пород. Но в данном случае можно установить только нижний предел геологического возраста интрузивных пород. Для более точного определения возраста необходимо исследовать участки, где кровля интрузивного тела перекрывается осадочными или вулканогенно-осадочными породами, возраст которых известен. В том случае, когда на контакте между интрузивными и перекрывающими осадочными образованиями отсутствуют признаки контактного метаморфизма, возраст интрузивного тела будет определяться интервалом между возрастом прорываемых отложений и возрастом пород. Как правило, этот интервал оказывается весьма широким.

8.3.2. Структурный метод

В основе структурного метода лежит идея об одновозрастности проявлений интенсивных тектонических движений и деформаций. Толщи осадочных образований в отдельные моменты геологической истории сминались в складки, размывались, а затем перекрывались более молодыми отложениями. Поэтому расчленение толщ на отдельные слои может осуществляться по поверхностям перерывов и несогласий. Толщи, заключенные между двумя одинаковыми поверхностями несогласий, рассматриваются как одновозрастные. Это метод широко используется для выделения местных подразделений высокого ранга и особенно широко распространен при распространении и сопоставлении докембрийских образований. Следует, однако, иметь в виду, что поверхности несогласий не всегда являются изохронными и при сопоставлении на дальние расстояния это может привести к серьезным ошибкам.

8.4. Геохимический метод

Расчленение и корреляция отложений геохимическим методом основаны на изучении характера распределения и миграции химических элементов в земной коре. Основное внимание при этом уделяется выявлению в разрезах повышенных или пониженных концентраций отдельных химических элементов и границ, отмечаемых резкими перепадами этих концентраций. При изучении литологически однородных толщ, в которых не наблюдается существенных изменений содержания химических элементов, не всегда удастся расчленить разрез с достаточной степенью детальности. В этом случае определенную помощь может оказать изучение изменения связей между элементами и образуемых ими ассоциаций.

Применение геохимического метода для расчленения и корреляции отложений основано на учении о миграции, рассеянии и концентрации

химических элементов в земной коре, основы которого изложены в работах В. М. Гольдшмита, В. И. Вернадского, А. Е. Ферсмана, Н. А. Саукова, А. И. Перельмана и других.

Одно из положений этого учения — представление о всеобщем рассеянии элементов в горных породах земной коры, на фоне которого повышенная концентрация 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 от внешних условий их миграции. Поскольку физико-химические свойства элементов практически постоянны, геохимическая специализация различных типов отложений, выраженная в различной тенденции элементов к накоплению, контролируется почти исключительно внешними условиями миграции.

Если химические элементы расположить в ряд по миграционной способности, то при равных физико-химических условиях их миграции каждый элемент будет занимать в этом ряду 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.

Значение геохимического метода для стратиграфии, как правило, вспомогательное. Наиболее эффективен геохимический метод для расчленения и корреляции внешне однородных осадочных толщ, слабо охарактеризованных органическими остатками.

8.5. Климатостратиграфия (климатостратиграфический метод)

Климат (от греч. *klíma*, родительный падеж *klímatos*, буквально — наклон; подразумевается наклон земной поверхности к солнечным лучам) — многолетний режим погоды, свойственный той или иной местности на Земле и являющийся одной из ее географических характеристик. При этом под многолетним режимом понимается совокупность всех условий погоды в данной местности за период несколько десятков лет; типичная годовая смена этих условий и возможные отклонения от нее в отдельные годы; сочетания условий погоды, характерные для различных ее аномалий (засухи, дождевые периоды, похолодания и прочее).

Около середины XX в. понятие климат, относившееся ранее только к условиям у земной поверхности, было распространено и на высокие слои атмосферы.

Воздействие географических факторов на климат

Климатообразующие процессы происходят при воздействии ряда географических факторов, основными из которых являются:

1. Географическая широта, определяющая зональность и сезонность в распределении приходящей к Земле солнечной радиации, а с нею и температуры воздуха, атмосферного давления и пр.

2. Высота над уровнем моря.

3. Распределение суши и моря.

4. Орография.

5. Океанические течения.

6. Характер почвы, в особенности ее отражательная способность (альбедо) и влажность.

7. Растительный покров.

8. Снежный и ледовый покровы.

9. Состав воздуха.

Под климатостратиграфией понимается система приемов и методов палеоклиматических реконструкции, предназначенных для дробного (внутриярусного) стратиграфического расчленения и межрегиональной корреляции осадочных образований. Климатостратиграфический анализ существенно увеличивает дробность стратиграфического расчленения осадочных толщ и помогает более надежно коррелировать выделяемые подразделения. Однако ввиду того, что в геологической истории климатические условия часто были неустойчивыми и довольно быстро менялись, этот метод может с успехом применяться и для расчленения более древних отложений, особенно тех эпох и периодов, которые характеризовались быстрой сменой **контрастных** климатических условий. Практически это ледниковые эпохи в широком понимании, возникавшие на Земле вслед за перемещением крупных по площади материковых глыб в околополюсные широты — поздний рифей, ордовик, пермо-карбон и поздний кайнозой. Наиболее эффективны методы климатостратиграфии для подразделений и корреляции плиоценовых и четвертичных отложений.

Климатостратиграфия — это системный подход, подразумевающий использование комплекса методов (литологического, палеонтологического, геохимического, геоморфологического, изотопного и др.) для установления направленности и амплитуды климатических изменений. Каждый из этих методов сам в какой-то мере способен свидетельствовать о температурном режиме и увлажненности в момент формирования отложений. Но достоверные результаты можно получить лишь при условии их совместного использования.

Исходным в климатостратиграфии является понятие о климатическом цикле. Каждый цикл характеризуется определенным, свойственным только ему распределением тепла, влаги и ландшафтных условий, которые отражаются на составе органического мира, особенностях денудации и аккумуляции осадков. Эмпирическим путем показано, что во времени каждый из параметров климата изменяется по волнообразной кривой, где пики и книксены¹²⁴ температур предшествуют максимумам и минимумам увлажнения. На этом основании было установлено, что каждый климатический цикл состоит из четырех стадий:

- тепло — сухо;
- тепло — влажно;
- холодно — влажно;
- холодно — сухо.

Эти стадии объединяются в две полуволны: теплую и холодную (теплообеспеченность), с одной стороны, и влажную и сухую (увлажненность) — с другой.

Процесс осадконакопления подчиняется климатическому и тектоническому режимам, которые соответственно отражаются на минеральном составе и геохимических особенностях отложений и на находящихся в них органических остатках.

Например, иссушение климата вызывает усиление эрозии и склоновых процессов в речном бассейне точно так же, как и тектоническое воздымание территории. И оба воздействия одинаковым образом будут отражены на гранулометрической кривой и в фациальном облике отложений. Увлажнение климата, наоборот, вызывает тот же отклик в осадконакоплении, что и тектоническое погружение.

Наиболее ярко и отчетливо климатические воздействия проявляются в континентальных и мелководно-осадочных образованиях, возникших в условиях спокойного тектонического режима, а тектонические воздействия оказываются наиболее сильными в подвижных поясах Земли. Поэтому климатостратиграфические исследования преимущественно проводятся для платформенных областей.

Главный фактор, осложняющий климатостратиграфические построения, — климатическая зональность. В высоких (50—80°) широтах главными в изменении климата являются колебания температур, амплитуда которых увеличивается с широтой, в то время как в средних широтах (20—40°) — колебания увлажненности. Поэтому все экзогенные процессы и живые организмы в высоких широтах сильнее реагируют на изменение теплообеспеченности, а в средних широтах — на изменение увлажненности.

¹²⁴ [нем. *Knicksen*] — короткое, неглубокое приседание.

Каждому климатическому циклу с двумя полуволнами и четырьмя стадиями в разрезе отвечает определенный седиментационный цикл. Климато-седиментационные циклы представляют собой хорошо картируемые геологические тела¹²⁵. Климатические циклы не только фиксируются в составе отложений, но устанавливаются по изменению содержащихся в них спорово-пыльцевых комплексов, видового и родового состава растительности, изменчивости растительных ассоциаций и фаунистических комплексов и их геохимических особенностей, на основе которых определяются температурные условия среды обитания организмов.

Климатические события ввиду тесной зависимости климата от периодических воздействий внешних факторов и от изменения земных климатообразующих явлений обладают масштабностью ритмических изменений. По диапазону климатических колебаний выделяют циклы различной продолжительности — от годовых (ленточная слоистость, слоистость в горючих сланцах) до глобальных, продолжительностью 180—250 млн. лет.

Климатостратиграфический метод дополняет биостратиграфический, но не является самостоятельным. В то же время он позволяет более детально расчленять и сопоставлять многие ярусы фанерозоя.

8.3.1. Особенности геологических исследований в рамках климатостратиграфического метода

Так как климатостратиграфия выделяет собственные стратиграфические подразделения, используемые для расчленения и корреляции разрезов, обычно бывает недостаточно проведения только формационного анализа, использования литолого-минералогических и палеонтологических индикаторов климатов прошлого.

- для детальных палеоклиматических реконструкций эффективно применяется выявление и классификация текстурных особенностей пород;

- тщательное выявление, описание и диагностика погребенных почв (палеопедология);

- минералогический анализ олигомиктовых и полимиктовых минеральных ассоциаций, аутигенных компонентов;

- изучение физических и механических свойств осадочных образований (плотность, пластичность, влагоемкость, компрессионные свойства и т. п.);

- изучение химического состава отложений, особенно в горизонтах гипергенного преобразования (коры выветривания, почвы и т. п.);

¹²⁵ Поэтому в стратиграфическом кодексе существуют специальные климатостратиграфические подразделения — климатолит, стадиал, наслой.

- палеонтологическое изучение миграций биоценозов, обусловленное изменениями климата, и в частности исследования изменения палинологической зональности как важнейшего индикатора стадийных особенностей изменений климата;
- применение методов количественной термометрии — кальциево-магниевого, кальциево-стронциевого отношений, изотопно-кислородного, изотопно-углеродного и аминокислотного для получения значений температуры морских бассейнов, их солёности и изотопного состава вод.

8.5.2. Климатостратиграфические подразделения

Климатостратиграфические подразделения — это совокупности горных пород, признаки которых обусловлены периодическими изменениями климата, зафиксированными в особенностях вещественного состава пород и ассоциаций остатков организмов, преимущественно растительных, с учетом длительности формирования стратонов соответствующего ранга.

Климатостратиграфические подразделения используются для четвертичных и неогеновых отложений. Возможно их использование и для более древних образований.

Границами климатостратиграфических подразделений являются палеоклиматические рубежи, выраженные в изменении литологического состава отложений, в смене ассоциаций организмов — климатических индикаторов, геохимической среды, седиментационных или диагенетических текстур и т. д.

Климатостратиграфические критерии используются для выделения региональных климатостратиграфических подразделений и наиболее мелких единиц общей стратиграфической шкалы — раздела, звена и ступени; в последнем случае эти критерии становятся определяющими.

Таксономическими единицами региональных климатостратиграфических подразделений являются климатолит, стадиал и наслой.

Региональные климатостратиграфические подразделения

КЛИМАТОЛИТ — основная таксономическая единица региональных климатостратиграфических подразделений — представляет собой совокупность горных пород, сформировавшихся во время одного климатического полуритма интенсивного похолодания (**криомер**) или потепления (**термомер**), проявленного в региональном масштабе. В средних широтах он отвечает ледниковую или межледниковую, в тропическом поясе — влажному (**плювиал**) или сухому (**арид**) климату.

Климатолиты, как правило, соответствуют региональным горизонтам, выделяемым в четвертичных отложениях, а из подразделений общей шкалы — ступеням. Климатолит должен иметь стратотип, который может быть ареальным. В качестве геохронологического эквивалента климатолита употребляются термины, соответствующие ступени, т. е. «криохрон» и «термохрон».

СТАДИАЛ — таксономическая единица региональных климатостратиграфических подразделений, подчиненная климатолиту. Геохронологическим эквивалентом стадиала является стадия. Стадиал тоже должен иметь стратотип, который может быть ареальным.

НАСЛОЙ — низшая таксономическая единица региональных климатостратиграфических подразделений, подчиненная стадиалу или непосредственно климатолиту. Наличие стратотипа необязательно, однако необходимо указание наиболее представительного разреза. Геохронологическим эквивалентом наслоя является осцилляция.

8.6. Тектоностратиграфия (диастрофические методы)

Особую группу методов стратиграфического расчленения и корреляции составляют те из них, которые основаны на проявлениях диастрофизма. Идея о возможности использования для целей стратиграфии различных тектонических движений возникла в конце прошлого века. Однако фактически неосознанное использование тектогенеза началось одновременно с разработкой стратиграфической шкалы еще в первой половине XIX в. Действительно, при первоначальном выделении систем они подразумевались как региональные стратиграфические подразделения в значительной мере на основе литолого-формационного подхода. При этом границы систем в ряде случаев проводились с учетом перерывов в напластовании, подчеркивающих их четкость и придававших им характер естественных рубежей. Однако только в конце прошлого века 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 и возможности использования так называемого канона орогенических фаз Штилле применительно к стратиграфии. Многие геологи увидели в орогенических фазах лучший критерий для стратиграфического расчленения и корреляции, поскольку как условия осадконакопления, так и развитие органического мира в конечном счете являются производными диастрофизма. В дальнейшем, однако, эти представления подверглись критике за «неокатаст-

рофизм» и упрощение реально существующих в природе событий и явлений.

Отдельные фазы орогенеза оказываются обычно территориально ограниченными, будучи приурочены к определенным складчатым областям или даже к зонам внутри последних. Поэтому проявления орогенеза хотя и используются для установления границ местных и региональных стратиграфических подразделений, но не пригодны для целей межрегиональной или планетарной корреляции.

Другое направление в области использования данных геотектоники для целей стратиграфии 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 прошлого века Э.Зюссом представлений о чередовании периодов общих погружений и поднятий континентов.

В дальнейшем было показано, что большинство трансгрессий и регрессий обусловлено относительными перемещениями (поднятиями или опусканиями) отдельных континентальных массивов или их частей. Соответственно трансгрессии и регрессии в большинстве своем являются местными, не имеющими универсального значения, хотя в истории Земли были широко распространены и всеобщие трансгрессии и регрессии, обусловленные эвстатическими колебаниями уровня Мирового океана.

Независимо от причин, вызвавших 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 эпейрогеническими, но и складкообразовательными движениями.

8.6.1. Перерывы и несогласия

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 отложения. 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 отложения не накапливались. Продолжительность перерывов изменяется 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 отложений или даже толщ осадочных пород, что приводит иногда к значительному увеличению пробела геологической летописи.

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

Из приведенных формулировок несогласия и перерыва следует, что эти понятия сопряженные. Термин «несогласие», или «несогласное залегание», выражает структурное соотношение слоев, т. е. форму взаимоотношения слоев.

Термин «перерыв» относится ко времени формирования несогласия, т. е. характеризует процесс, действие.

Перерывы обычно фиксируются при морском осадконакоплении. Перерывы бывают:

- Субаэральные (континентальные) — с осушением площади.
- Субаквальные — без осушения площади.

Иногда перерывы подразделяются на отдельные категории, в зависимости от их масштаба. Так, наиболее длительные перерывы и несогласия нередко обозначаются как «стратиграфические», хотя все остальные перерывы (и несогласия) всего лишь различные проявления стратиграфически несогласного залегания.

Некоторые исключения (оговорки) делаются для «мелких» перерывов, которые, следуя Дж. Баррелу, обозначаются термином диастема¹²⁶. От истинных перерывов и несогласий следует отличать понятие, обозначаемое как «внутриформационное несогласие (перерыв)», под которым понимается угловое несогласие, возникающее в сериях косослоистых пород.

Существует целый ряд признаков, свидетельствующих о перерывах в осадконакоплении. Главными признаками перерывов в морском осадконакоплении, по мнению В. Н. Яблокова, являются следующие:

1. Угловое несогласие с подстилающими породами;
2. Поверхность размыва, обычно неровная, волнистая, срезающая нижележащие отложения на разную глубину;

¹²⁶ Диастема — небольшие перерывы в разрезе, обусловленные моментами, в течение которых не происходило отложения осадков или имело место взмучивание и перемещение отложившего материала.

3. Коры выветривания;
4. Признаки карстообразования и выветривания в отдельных горизонтах глинистых и песчаных пород;
5. Поверхности напластования с трещинами усыхания и брекчии;
6. Прослой пород со следами автохтонной корневой системы растений;
7. Ископаемые почвы;
8. Прослой галек и конгломератов;
9. Палеодолины и аллювиальные песчаные породы;
10. Породы золотого происхождения;
11. Ледниковые отложения;
12. Резкая смена фауны, не обусловленная сменой фаций на данном участке.

Особые трудности вызывает установление скрытых несогласий.

Таким образом, тектоностратиграфические методы имеют ведущее значение для стратиграфии докембрийских отложений. Установление местных подразделений докембрия высокого ранга — 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.

Для фанерозоя тектоностратиграфические методы утрачивают свои позиции. 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.

Важнейшим свидетельством проявлений диастрофизма в форме как складкообразующих, так и колебательных движений, зафиксированных в разрезах, служат несогласия, отражающие перерывы в осадконакоплении.

8.7. Событийная стратиграфия

Событийная стратиграфия (*event*¹²⁷ stratigraphy), или стратиграфия по событиям, имеет своей целью изучение событий, документируемых в разрезах, и их использование в качестве опорных хронологических рубежей для совершенствования временной корреляции осадочных толщ. Событийная стратиграфия основана на концепции существования глобальных синхронных событий, многие из которых при-

¹²⁷ *event* — инцидент, случай, результат, последствие, происшествие.

урочены к границам подразделений общей стратиграфической шкалы¹²⁸. Она представляет собой метод мультидисциплинарных стратиграфических исследований осадочных, вулканогенно-осадочных комплексов верхнего докембрия и фанерозоя, направленных на изучение свойств пород, характера строения толщ, состава и разнообразия биоты на рубежах критических изменений или в событийных интервалах.

История развития Земли имеет непрерывно-прерывистый характер и представляет собой периоды относительно стабильных условий, сменяющихся эпизодами быстрых изменений. Эти изменения могут быть периодическими, связанными с воздействиями Солнечной системы, либо экстраординарными или эпизодическими событиями. Событие определяется как кратковременное, часто катастрофическое прекращение непрерывности процесса. Временной интервал события значительно короче предшествовавшего и последующего периодов относительно стабильного развития или медленных изменений литосферы, атмосферы, гидросферы и биосферы. По своей природе различаются абиотические и биотические события, по пространственному проявлению — глобальные и региональные. Глобальные события важны для понимания истории Земли и планетарной корреляции, а региональные — используются в расчленении осадочных толщ и их корреляции на конкретных территориях.

8.7.1. Глобальные события

Глобальное событие в отличие от процесса — это всегда глубокое и относительно кратковременное изменение. Термин «глобальное» используется для определения абиотического или биотического события в том случае, если оно проявляется синхронно на разных палеоконтинентах, в сравнимых обстановках и палеогеографических ситуациях и прослеживается в пределах самой меньшей, хорошо коррелируемой единицы — биостратиграфической зоны. События или маркируемые ими событийные уровни служат основными реперами межконтинентальных корреляций и распознавания большинства границ отделов и многих ярусов общей стратиграфической шкалы на основании распознавания их по резким изменениям различных признаков: литологических, седиментологических, биотических, химических и др.

¹²⁸ Например, иридиевый горизонт, характеризующий отложения конца мелового периода. Иридий, элемент весьма редкий на Земле, но типичный для астероидов. Считается, что это косвенное подтверждение «астероидной» теории гибели динозавров, аммонитов и т. д.

К настоящему времени хронологическая последовательность в фанерозое насчитывает около 60 глобальных событий различной значимости, которые в качестве хорошо датированных уровней могут быть использованы для более точной корреляции. События в конце докембрия, томмотского века кембрия, ордовика, франского века девона, перми, триаса и мела, к которым приурочены массовые вымирания биоты, классифицируют как события первого порядка. Всего же выделяется пять категорий или порядков.

Последовательность глобальных событийных уровней фанерозоя часто называют событийно-стратиграфической шкалой, хотя она таковой и не является.

Различают две группы глобальных событий:

Абиотические — это те, которые фиксируются в разрезах по изменениям вещественного состава, структуры, текстуры, химических, физических и других седиментологических характеристик пород (соленость, содержание изотопов O_2 , C и S), по проявлению продуктов эксплозивной¹²⁹ вулканической деятельности.

Причины абиотических событий:

1. Изменения уровня Мирового океана;
2. Значительные изменения климата, тесно связанные с химическими и физическими свойствами морской воды, земной поверхности и атмосферы. Они, в свою очередь, вызывают изменения характера седиментации, биопродуктивности и эволюции биоты.

- Эвстатические изменения¹³⁰ уровня Мирового океана, обусловленные климатическими изменениями, глубинными тектоническими процессами и другими причинами, приводят к глобальным регрессиям и трансгрессиям.

- Геохимические события выражаются в накоплении повышенных концентраций иридия (Ir) и негативных содержаний изотопов углерода ($\delta^{13}C$), кислорода ($\delta^{18}O$), серы ($\delta^{34}S$) и соотношения изотопов стронция ($^{87}Sr/^{86}Sr$). С ними связаны изменения содержания кислорода в водах и биопродуктивность Мирового океана. Таких событий только в фанерозое установлено более 60.

- Океанографические события связаны с изменениями циркуляции океанических вод и уровня бескислородного слоя в их толще. Это приводит к кратковременному глобальному формированию черносланце-

¹²⁹ Explosive — взрывной.

¹³⁰ Эвстатическое изменение (колебание) [eustatic change] — глобальное изменение уровня моря, затрагивающее весь Мировой океан, или же относительное изменение уровня моря в глобальном масштабе, вызванное изменением либо объема морской воды, либо площади поверхности океанических бассейнов, либо тем и другим вместе.

вых прослоев (с аномальным содержанием углерода, кислорода и серы), посреди толщи светлоокрашенных карбонатных пород.

• Климатические события — это следствие длительных, наложенных друг на друга, процессов:

- о эвстатических колебаний;
- о образования срединно-океанических хребтов;
- о перестроек систем океанических течений;
- о изменения физико-химических свойств морских вод;
- о глобального изменения температуры морских вод.

Все они вызывают изменения стратификации морских вод, колебания уровня бескислородного слоя, вертикальных конвекций и системы океанических течений, формирующих и меняющих вещественный состав и «органическое наполнение» осадочных толщ.

Биологические, или Биотические — это внезапные события и «биологические катастрофы», затрагивающие биоту в границах определенного таксона (класса, отряда, семейства и т. д.) одной или нескольких групп организмов, а также палеоэкосистем в целом или их крупных частей. Биологическими обычно называются события, связанные с изменением таксономического состава организмов, к которым относятся события вымирания, появления морфологических структур и радиации. Перестройки в составе и структуре палеоэкосистем чаще классифицируются как биотические события.

Постепенное снижение биоразнообразия, происходящее в течение более длительного времени, когда скорость вымирания таксонов превышает скорость их появления, обычно определяется термином «кризис».

Обычно глобальное биособытие вызывается сложным комплексом абиотических изменений, накладывающихся и усиливающих друг друга. Изучение биособытий фанерозоя показало, что основными и часто взаимоувязанными причинами их возникновения являются изменения климата и эвстатические колебания уровня Мирового океана. Эти причины лежат в основе коренных биотических перестроек различного масштаба, они часто затрагивают как морскую, так и наземную биоты. Однако во многих случаях конкретные причины биособытий не проявляются в седиментологических последовательностях и наоборот.

Сравнительные масштабы проявления конкретных биособытий оцениваются по таксономическому рангу вымерших таксонов, а также по статистическим подсчетам общего количества вымерших, выживших и появившихся таксонов или по их процентному соотношению. При анализе биособытий учитываются эволюционный уровень и роль в палеоэкосистемах конкретных групп, затронутых событием.

Среди глобальных биологических событий наиболее распространены:

1. События массовых вымираний;
2. Появления новых морфологических структур;
3. События увеличения разнообразия или радиации организмов.

Глобальные события массовых вымираний, внезапных или ступенчатых по своей природе, обычно затрагивают несколько групп организмов, большую часть или всю биоту. Они происходят со скоростями, существенно большими, чем скорости обычных фоновых вымираний в разделяющие их периоды относительно стабильных состояний биоты. Такие события имеют палеоэкологическую или палеоэкосистемную природу.

Не все резкие абиотические события приводят к массовым вымираниям, кроме того, выявляется их избирательность по отношению палеоэкосистемам или палеогеографическим обстановкам. События массовых вымираний могут быть также избирательными по отношению к различным таксонам или экологическим группам организмов. Например, в конце мелового периода вымерли многие представители тетрапод, и наоборот, представители млекопитающих быстро эволюционировали и увеличивали свое таксономическое разнообразие.

Обычно массовые вымирания дают начало регулярной эволюционной модели, которая включает следующую последовательность фаз:

- вымирание;
- выживание единичных консервативных таксонов;
- восстановление на основе выживших таксонов и восстановление разнообразия отдельных групп организмов или биоты в целом.

Глобальное биологическое событие, выраженное в появлении морфологического новшества, означает введение нового структурного плана или нового морфологического признака, на основе которого происходят диверсификация¹³¹ и дальнейшая эволюция таксона.

Глобальные события диверсификации или радиации обычно происходят ступенчато и следуют за массовыми вымираниями. Однако по сравнению с последними возникновение новых таксонов и их расселение в освоенных экологических нишах происходят в более продолжительные отрезки времени. События радиации также могут быть обусловлены морфологическими инновациями¹³², возникшими до или в период массовых вымираний.

Диверсификации, следующие за биотическими перестройками, вызываются благоприятными для данного таксона изменениями обстановок, а внезапное увеличение разнообразия может быть результатом событий иммиграции таксонов и следующих за ними эволюционных событий.

¹³¹ Диверсификация — разнообразие, разносторонность, многосторонность.

¹³² Инновация — процесс непрерывного совершенствования.

Определенных правил наименования глобальных абиотических и биотических событий фанерозоя пока нет, в их названии обычно дается возрастная датировка и/или отражается ведущее абиотическое изменение. В некоторых случаях используется географическое название местности, где данное событие было впервые распознано и описано. События массовых вымираний чаще всего именуются по видовому названию датирующего их зонального таксона. В большинстве случаев крупные абиотические перестройки и связанные с ними массовые вымирания имеют одно и то же географическое или геохронологическое название.

8.7.2. Региональные события

Региональные абиотические и биотические кратковременные изменения, распознаваемые в конкретных регионах, могут быть усилены или затухеваны наложением на них глобальных событий.

В каждом регионе имеются свои специфические событийные уровни, отражающие конкретные особенности его геологического развития. Возрастная датировка и реконструкция природы и характера этих изменений имеют важное практическое значение. Событийный подход в региональных стратиграфических исследованиях при полевых наблюдениях и особенно при изучении опорных разрезов способствует более точному стратиграфическому расчленению, выявлению и оценке масштабов стратиграфических перерывов на основе комплексирования стратиграфических методов, а также сопоставлению картируемых геологических образований на площади.

Резкие региональные абиотические изменения в разрезах на площади наиболее часто связаны с изменениями скорости и активности проявления тектонических процессов, а также с проявлением вулканической деятельности, кратковременными климатическими колебаниями регионального масштаба и химическими изменениями, вызываемыми вертикальными миграциями бескислородных зон. Многие из региональных абиотических изменений приводят к региональным биологическим событиям. Они выражаются в резком снижении или увеличении биомассы и /или таксономического разнообразия комплексов, в смене биофаций и других фиксируемых в разрезах биостратомических изменениях.

8.8. Магнитостратиграфия (палеомагнитный метод)

8.8.1. Магнитные свойства Земли

Земля представляет собой гигантский магнит. Магнитное поле Земли по своей величине очень мало, но оно имеет громадное значение. Магнитное поле на поверхности Земли делят на постоянное и пере-

менное. Главная часть постоянного магнитного поля обязана происхождением процессам, протекающим в ядре, на границе ядра и мантии, в мантии, где движение флюидов, вызываемое конвекцией, сравнимо с работой динамо-машины. На него накладывается магнитное поле, созданное породами земной коры. Переменное магнитное поле связано с процессами, происходящими на Солнце.

Земля имеет Северный и Южный магнитные полюса, которые не совпадают с географическими полюсами. Геомагнитное поле более или менее симметрично относительно оси вращения Земли. По причинам, которые пока не совсем ясны, потоки, циркулирующие в коре, через неправильные промежутки времени меняют свое направление движения на обратное, вызывая *инверсии*¹³³ магнитного поля.

Палеомагнитология изучает явление палеомагнетизма, т.е. магнитное поле Земли геологического прошлого, закрепленное в своеобразных отпечатках этого поля — *векторах естественной остаточной намагниченности (NRM)*¹³⁴ J_n горных пород, которые фиксируют магнитное поле времени и места образования горных пород. Для этого используется тот факт, что в истории Земли многократно происходили инверсии магнитного поля, когда *векторы первичной намагниченности* (J_n^0) менялись на 180° , т. е. северный магнитный полюс становился южным и наоборот. Это обстоятельство позволяет расчленять разрезы на ряд горизонтов прямой и обратной намагниченности. Инверсии магнитного поля происходили неравномерно во времени: длительные интервалы времени характеризуются постоянством направления вектора первичной намагниченности (J_n^0), эти интервалы чередуются с периодами многократных инверсий. Такое неоднородное строение позволяет выделять характерные реперы и существенно повышает точность корреляции. Если учесть, что каждая инверсия магнитного поля Земли — событие глобального масштаба и происходила одновременно, то границы скоррелированных палеомагнитных горизонтов являются *строго изохронными*, а сам палеомагнитный метод наряду с палеонтологическим методом (имеется в виду использование ортофаун) и определениями абсолютного возраста принадлежит к числу методов непосредственной корреляции.

¹³³ [*inversio* — переворачивание].

¹³⁴ Свойство веществ, горных пород, минералов, определяемое магнитным моментом единицы объема и в общем случае характеризующее их способность к созданию магнитных полей. Различается индуцированная (J_i) и естественная остаточная намагниченность (J_n). Индуцированная намагниченность возникает под действием земного магнитного поля и исчезает с прекращением его действия. Естественная остаточная намагниченность сохраняется в горных породах, минералах после прекращения действия намагничивающего поля. Направление естественной намагниченности совпадает с направлением магнитного поля прошлых эпох в случае отсутствия перемагничивания.

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. Все эти явления находят приложение в изучении строения Земли, ее эволюции, а также в решении вопросов геологической практики. Подобно тому, как окаменелости и отпечатки организмов, живших в геологическом прошлом, позволяют изучать историю развития органического мира, синхронизировать содержащие их пласты и определять возраст этих пластов, «окаменелый геомагнетизм» — *намагниченность* J_n горных пород — позволяет изучать историю магнитного поля Земли, синхронизировать содержащие отпечатки этого поля породы и определять их возраст. И подобно тому, как окаменелость или отпечаток организма не есть сам организм, направление вектора в общем случае еще не есть направление вектора геомагнитного поля в эпоху и в месте образования породы, а модули этих векторов связаны соотношениями, зависящими от многих факторов.

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, как и любого ферромагнетика, зависит не только от ее свойств и значения приложенного магнитного поля, но также и от целого ряда факторов, таких, как время, температура, механические напряжения, химические изменения. Эти факторы сами по себе способны лишь разрушать имеющуюся намагниченность, однако в присутствии магнитного поля любой из них способствует образованию намагниченности. В зависимости от того, какой из перечисленных факторов оказывает влияние, возникает намагниченность особого вида.

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* (VRM) J_v .

Все ферромагнетики, будучи нагретыми выше температуры Кюри¹³⁵, теряют свои ферромагнитные¹³⁶ свойства. Если затем охладить такое

¹³⁵ Точка (температура) Кюри — температура, выше которой ферромагнитные вещества превращаются в парамагнитные.

¹³⁶ Ферромагнетизм — свойство материала намагничиваться в магнитном поле и частично сохранять намагниченность при исчезновении намагничивающего поля. Связан с наличием в материале областей спонтанной намагниченности. Сопровождается другими аномалиями физических свойств (магнитной восприимчивостью, теплоемкостью). Парамагнетизм — свойство веществ (парамагнетиков) слабо намагничиваться в направлении намагничивающего поля. Обусловлен частичной ориентацией магнитных моментов атомов в магнитном поле.

вещество до комнатной температуры, то оно приобретет остаточную намагниченность, направление которой совпадает с направлением внешнего магнитного поля. Эта намагниченность называется *термоостаточной* (TRM) J_T , ее приобретают все магматические породы в процессе остывания. Высокая синхронность в породе и стабильность к внешним воздействиям делают величину J_T важным носителем палеомагнитной информации.

Опыты показывают, что термоостаточная намагниченность возникает при охлаждении образца не только от температуры Кюри T_C до комнатной, но и в любом другом температурном интервале ниже T_C . Такая намагниченность называется *парциальной*¹³⁷ *термоостаточной* и обозначается J_{prt} .

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 (или кристаллизационная) остаточная намагниченность* (CRM) J_{rc} . Как химическая, так и парциальная 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, осадок приобретает *ориентационную (седиментационную) остаточную намагниченность* (DRM) J_{ro} . Другие виды намагниченности, хотя и могут присутствовать в горных породах, играют меньшую роль в палеомагнетизме.

Существует еще также и *пьезоостаточная*¹³⁸ *намагниченность* (PRM), которая является дополнительной остаточной намагниченностью, приобретаемой при наложении или снятии механических напряжений во внешнем магнитном поле при постоянной температуре.

Надежную информацию о древнем геомагнитном поле несет только та компонента J_n (естественной остаточной намагниченности), возраст которой совпадает с возрастом породы (первичная намагниченность J_n^0). 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^0). Решение этой задачи (выделить первичную намагниченность, определить направление

¹³⁷ Парциальный — частичный, отдельный.

¹³⁸ Piezo (гр.) — давлению.

и модуль J_n^0) ведется геометрическими, статистическими и магнитными способами, среди которых наиболее распространен способ «магнитной чистки».

8.8.2. Предпосылки использования палеомагнитного метода в стратиграфии

При интерпретации полученных палеомагнитных данных, которые представляют собой совокупность векторов J_n , «очищенных» от нестабильных компонент, в качестве исходной принимают модель, базирующуюся на фундаментальных положениях, которые называют основными гипотезами палеомагнетизма:

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

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

- Геомагнитное поле, осредненное за любые промежутки времени порядка 1 млн. лет (кроме эпох его резких перестроек), — палеомагнитное поле — является полем диполя¹³⁹, помещенного в центр Земли и ориентированного по ее оси вращения (гипотеза центрального осевого поля).

Установлено, что направления палеомагнитного поля (палеомагнитные направления) являются функцией географического положения и возраста исследованных горных пород. Распределение палеомагнитных направлений для разновозрастных пород в пределах тектонически стабильных блоков литосферы соответствует полю центрального диполя с определенными для данного возраста координатами палеомагнитных полюсов (табл. 8) и определенной прямой (совпадающей с современной) или обратной полярностью геомагнитного поля.

Полюс, рассчитанный по среднему палеомагнитному направлению, осредненному по периодам $\sim 10^4$ — 10^6 лет, достаточно долгим, чтобы неосевые компоненты поля Земли осреднялись, называется *палеомагнитным полюсом* (рис. 16). Поэтому палеомагнитный полюс приблизительно соответствует древнему географическому полюсу. От него нужно отличать виртуальный полюс, т. е. полюс, рассчитанный по ограниченной группе данных о направлении поля. В геологическом смысле виртуальный геомагнитный полюс соответствует какому-то моменту

¹³⁹ Диполь (два полюса) — совокупность двух равных по величине фиктивных магнитных зарядов противоположного знака, находящихся на некотором расстоянии друг от друга.

**Опорные палеомагнитные данные
для определения геологического возраста пород
(Практическая стратиграфия)**

Платформа	Период, эпоха	Средние координаты полюса		Число определений	Погрешность определения полюса	Преобладающая полярность пород
		Широта Φ (северная)	Долгота Λ (восточная)			
Восточно-Европейская и Сибирская	$Q_{II}-Q_{IV}$	87°	125°	28	3°	N
	$N-Q_1$	80	178	47	4	NR
	$K-Pg$	76	168	26	3	N
Восточно-Европейская	T_2-J	65	152	14	7	N
	T_1	51	154	25	5	R
	P_2	45	165	34	3	NR
	C_3-P_1	40	168	50	2	R
	C_2	32	161	17	3	NR
	D_1-D_2	28	159	16	6	R
	V	8	189	7	15	R
	R_1	46	232	5	12	N

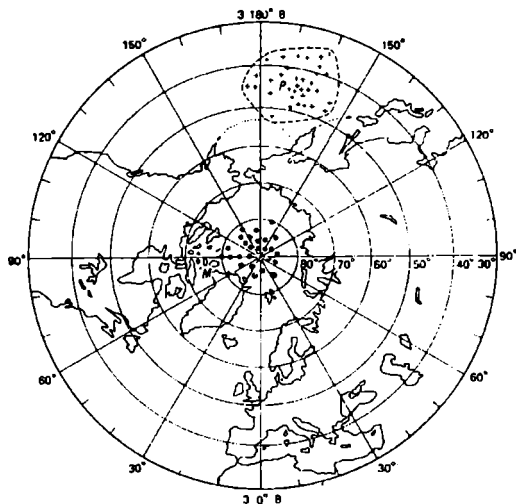


Рис. 16. Стереографическая проекция Северного полушария. Область черных точек вокруг Северного полюса дает положение плейстоценовых и плиоценовых полюсов, определенных по палеомагнитным данным; буквой М обозначено современное положение геомагнитного полюса; Р — палеомагнитный полюс пермского периода (по П. Шарма)

времени. Например, современные геомагнитные полюса являются по существу мгновенными полюсами.

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 на основе принципов тектоники литосферных плит.

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. Основой этих исследований служат палеомагнитные шкалы или шкалы геомагнитных инверсий, привязанные к общей стратиграфической шкале или изотопным датировкам (рис. 17, 18).

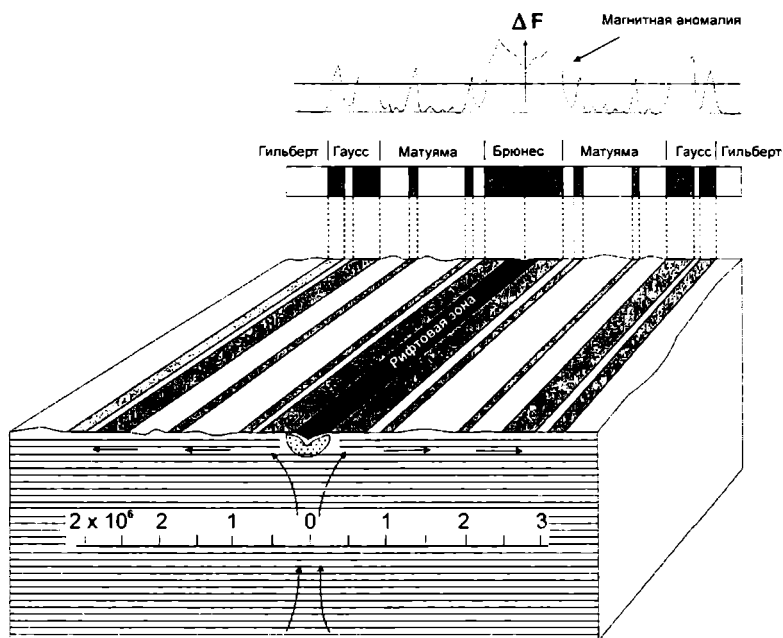


Рис. 17. Схематическое представление спрединга океанического дна на основе чередования полос положительных и отрицательных аномалий, создаваемых нормально и обратно намагнитченными участками океанической коры. Зоны нормальной полярности затемнены. По горизонтали указан возраст в миллионах лет (по П. Шарма)

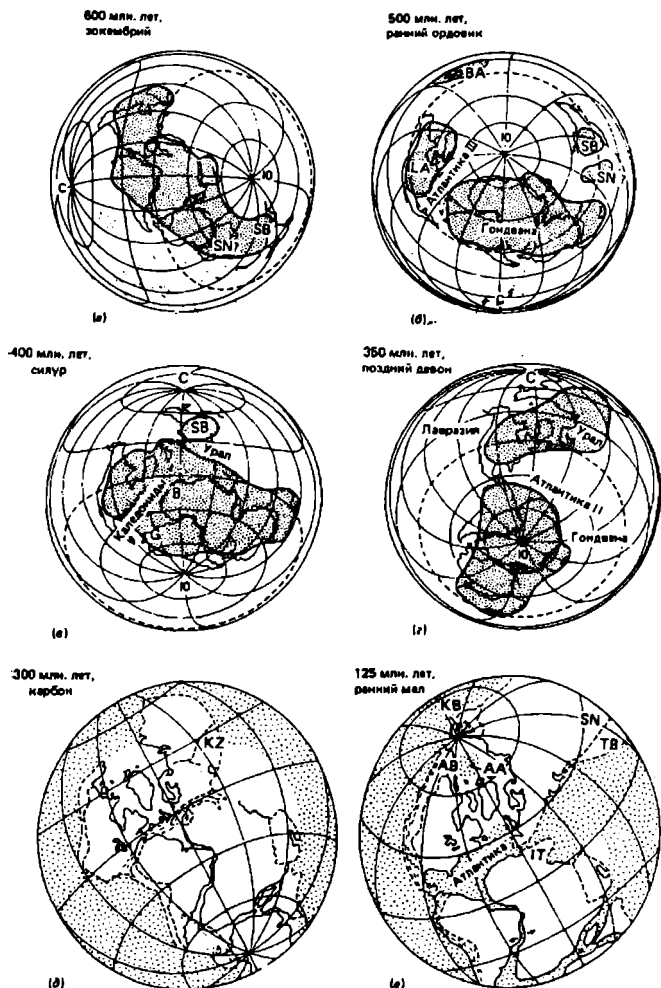


Рис. 18. Карты палеоконтинентов:

а—г — по Морелу и Ирвингу, д—е по Ирвингу.

(а) Массив Пангея в конце докембрийского времени: SB — Сибирский щит, SN — Китайский щит. (б) Раскрытие Атлантики III и последующее значительное раздвижение континентов BA — Балтика, G — Британия, LA — Лаурентия. (в) Закрытие Атлантики III и формирование каледонского складчатого суперпояса и новой Пангеи. (г) Раскрытие Атлантики II и рифтообразование с отделением Лауразии и Гондваны. (д) Закрытие Атлантики II в среднекаменноугольное время (герцинская орогенезия) и возникновение еще одной Пангеи. (е) Раскол Пангеи в юрское время ведет к формированию современных Атлантического, Индийского и Северного Ледовитого океанов; их ширина в меловой период была относительно небольшой

Время, в течение которого происходит инверсия, как это установлено детальными палеомагнитными исследованиями переходных зон, составляет около 5000 лет. По этой причине слои внутри переходных зон не могут быть скоррелированы в глобальном масштабе, и соответственно, разрешающая способность магнитостратиграфии примерно равна продолжительности перехода.

8.8.3. Магнитостратиграфическая шкала

Различают две группы магнитостратиграфических шкал:

1. Основанные на изменениях во времени геомагнитного поля, пригодные для корреляции геологических событий в масштабе всей планеты. К ним относятся: шкала геомагнитной полярности, шкала миграции геомагнитных полюсов, шкала напряженности палеомагнитного поля и шкала вековых вариаций. В настоящее время наиболее разработана и широко применяется магнитостратиграфическая шкала полярности, основанная на наиболее яркой характеристике поведения геомагнитного поля — на обращениях его полярности (инверсиях). Общая магнитостратиграфическая шкала полярности (ОМШ) — это последовательный ряд магнитозон прямой (черного цвета) и обратной (незакрашенных) полярности, образующих магнитостратиграфические подразделения разного ранга (см. ниже), отвечающих определенным интервалам общей стратиграфической шкалы.

2. Отражающие условия образования горных пород — местные и региональные шкалы, не пригодные для корреляции геологических событий за рамками региона.

Бывший СССР и Россия

Магнитостратиграфические исследования в бывшем Советском Союзе проводились преимущественно на территории страны (составлявшей ранее 1/6 общей площади суши), большая часть которой в настоящее время отошла к России.

Накопление фактического материала по палеомагнитным данным в регионах и их систематизация позволили создать региональные палеомагнитные шкалы почти для всех интервалов фанерозоя. В 1982 г. была издана Палеомагнитная шкала палеозоя, мезозоя и палеогена СССР. Самые крупные единицы, выделяемые по этой шкале, — гиперзоны (25—70 млн. лет), в наиболее изученных интервалах шкалы установлены суперзоны (10—40 млн. лет). Палеомагнитным подразделениям присвоены географические названия, не использованные в стратиграфии, с учетом приоритета и места их выделения.

В качестве примера:

гиперзона — Омогон (T_2-J_1), Гиссар (J_1-K_1) и т. д.

суперзона — Тихвинская (D_3-C_1), Дебальцевская (C_1-C_2) и т. д.

В настоящее время в качестве общепринятых магнитостратиграфических подразделений в Стратиграфическом кодексе России предусматривается понятие *магнитозона*¹⁴⁰. Таксономическая шкала общих магнитостратиграфических подразделений состоит из следующих подчиненных единиц:

мегазона

гиперзона

суперзона

ортозона

субзона

микрозона.

Им соответствуют таксономические единицы магнитохронологической шкалы, названия которых образованы от соответствующего названия магнитозоны (Например: *мегазона* — *мегахрон*).

Дальнее зарубежье

Палеомагнитные исследования за рубежом проводились очень интенсивно, распространяясь по всей площади Земного шара. Весьма широко были выполнены магнитостратиграфические на акваториях морей и океанов. Данные геолого-геофизических исследований морей и океанов, их интерпретация с позиции тектоники плит значительно повлияли на подход и методику построения магнитостратиграфической шкалы.

В первую очередь это связано с изучением керна скважин, которые были пробурены по проекту глубоководного бурения (DSDR).

В соответствии с требованиями Международной подкомиссии по стратиграфической номенклатуре, рекомендуются следующие термины для описания подразделений времени, основанных на геомагнитной полярности: *субхроны полярности*, *хроны полярности* и *суперхроны полярности*. Соответствующими хроностратиграфическими терминами для описания всех пород, сформировавшихся в течение этих временных интервалов, независимо от того, магнитные породы или нет, являются *субхронозона полярности*, *хронозона полярности* и *суперхронозона полярности*. Магнитные литостратиграфические интервалы,

¹⁴⁰ Для магнитостратиграфических подразделений, как и для ряда других, согласно Международному стратиграфическому справочнику, соответствует «зона с соответствующей приставкой или прилагательным». Геохронологический эквивалент — хрон.

основанные на измеренных магнитных свойствах пород, называются *субзонами полярности*, *зонами полярности* и *суперзонами полярности*. Рекомендованы следующие продолжительности для подразделений различного уровня иерархии:

Название	Приблизительная продолжительность, годы
Субзона полярности	10^4 — 10^5
Зона полярности	10^5 — 10^6
Суперзона полярности	10^6 — 10^7
Гиперзона полярности	10^7 — 10^8

Временной интервал между двумя последовательными инверсиями полярности рассматривается в общем как *интервал полярности*. Этот термин используется в качестве описательного для физического явления, но не для хроностратиграфического подразделения. Слово «интервал» интерпретируется как временной или пространственный промежуток и поэтому считается термином свободного пользования.

В мире широкое распространение получила Ламонтская шкала, шкала Кокса (Cox). Сопоставление палеомагнитных разрезов в глобальном масштабе затруднено по ряду причин:

- Как правило, недостаточно стратиграфическое обоснование и полнота магнитозон;
- Нет общепринятой геохронологической шкалы фанерозоя;
- Разные авторы пользуются разными хроностратиграфическими и геохронометрическими шкалами.

8.8.4. Экскурсы¹⁴¹

Даже в спокойные периоды (вне периодов обращения полярности) направление геомагнитного поля испытывает колебания с типичной амплитудой около 15° и периодом 10^2 — 10^4 лет. Эти вековые геомагнитные колебания относительно незначительны и не могут быть спутаны со 180° -градусными изменениями направления магнитного поля, характерными для инверсий.

В разрезах часто наблюдаются интервалы, соответствующие неустойчивому состоянию геомагнитного поля (сильному отклонению направления поля, незавершенной инверсии). Такой интервал называется аномальным, включается в состав вмещающего магнитостратиграфического подразделения и не представляет самостоятельной таксономической единицы.

¹⁴¹ Экскурс — от лат. *excursus*, буквально — выбегание.

Это и есть *экскурсы*¹⁴² (рис. 19), которые характеризуются большими изменениями полярности, достигающими порой 180° . Экскурсы, как полагают, имеют продолжительность около 1000 лет. Они являются очень четкими стратиграфическими маркерами. Однако их глобальное прослеживание затруднено по нескольким причинам:

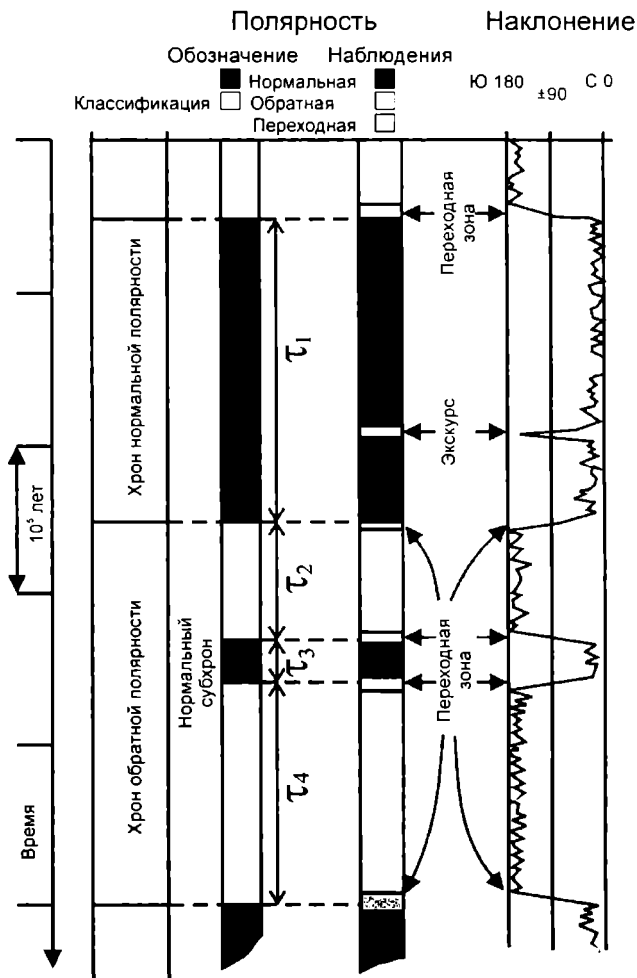


Рис. 19. Экскурсы (Шкала геологического времени)

¹⁴² Экскурсы — кратковременное (около 1000 лет) колебание магнитного поля вне периода глобального обращения полярности.

- экскурсии столь коротки, что их нельзя уловить во многих стратиграфических разрезах;
- некоторые из экскурсов могут быть отражением локальных, а не глобальных палеомагнитных явлений;
- некоторые из аномальных палеомагнитных направлений могут быть обусловлены не экскурсами, а деформациями изучаемых пород.

8.8.5. Шкала, датированная радиометрически: 0—5 млн. лет

Для временного интервала от современности до 5 млн. лет назад были проведены одновременные измерения калий-аргонового возраста и магнитной полярности по 354 слоям экструзивных¹⁴³ пород во многих районах мира. По этим данным была составлена временная шкала магнитных инверсий, твердо доказавшая их глобальный характер (рис. 20).

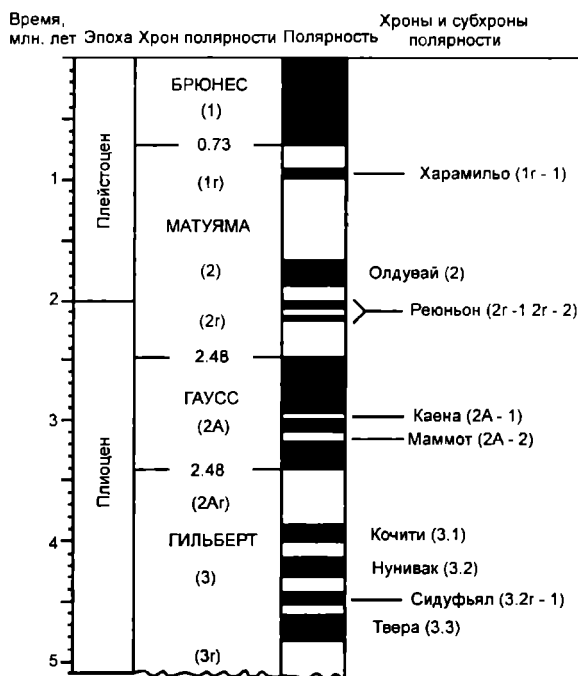


Рис. 20. Радиометрически обоснованная временная шкала полярности (Шкала геологического времени)

¹⁴³ Экструзия — тип извержения, свойственный вулканам с вязкой лавой

8.8.6. Морские магнитные аномалии: 5—83¹⁴⁴ млн. лет

Морские магнитные аномалии являются наиболее полным, единым источником информации о магнитных инверсиях от оксфордского века до современности, т. е. в интервале возраста дна океана, где сохранилась запись геомагнитных инверсий. Основная причина высокой точности морских магнитных данных заключается в непрерывности геологических процессов, приводящих к образованию новой коры вдоль срединно-океанических хребтов. Чередование интервалов нормальной и обратной полярности, запечатленное на дне океана, дает запись морских магнитных аномалий в форме пиков на магнитных профилях.

Несмотря на то, что невозможно получить единый магнитный профиль с совершенной записью всех инверсий, путем сравнения профилей, выполненных в различных частях земного шара, можно идентифицировать те аномалии, которые присутствуют на большинстве высококачественных профилей и таким образом определить, какие из них обусловлены геологическими шумами, а какие отвечают истории геомагнитных инверсий. Для этого существуют различные способы.

8.8.7. Наименование и номера хронов полярности

Получили распространение две системы обозначения хронов полярности. Первая, представленная названиями (Брюнес, Матуяма, Гаусс, Альберт), используется для радиометрически датированной части шкалы инверсий. Эти стандартные названия хронов используются для глобальной корреляции в стратиграфии плиоцена и плейстоцена.

Вторая система представляет собой пронумерованную схему, сложившуюся неофициально после того, как морские геофизики перенумеровали 32 (позднее 33) наиболее отчетливых пика положительных аномалий на магнитных профилях по океаническим бассейнам. Номером 1 обозначена аномалия срединно-океанических хребтов, где в настоящее время формируется новая океаническая кора (polarity chronopole — C1). В настоящее время эти номера, которые были присвоены пикам аномалий, стали неофициальными¹⁴⁵ обозначениями зон магнитной полярности (рис. 21, 1 и 2).

¹⁴⁴ Граница кампан — сантон в осадочных отложениях Умбрийских Апеннин (Италия). По другим данным — 84 млн. лет.

¹⁴⁵ А может уже и официальными?

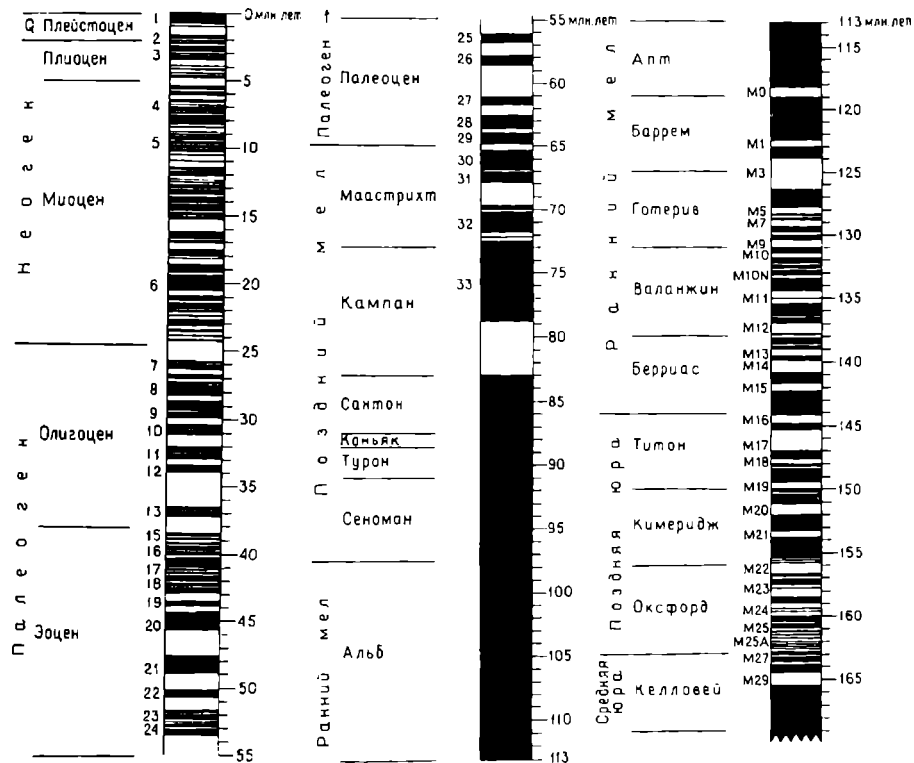


Рис. 21. Временная шкала инверсий от келловейского времени до ныне (Шкала геологического времени)

Дно океана, образовавшееся на протяжении апт-сантона, известно как «спокойная зона мела¹⁴⁸»; в океанической коре, отвечающей этому промежутку времени, отсутствуют прослеживаемые глобально магнитные аномалии. Общепринятое объяснение: в то время полярность магнитного поля Земли была нормальной, за некоторым исключением. На отрезке от оксфорда до баррема хроны полярности обычно обозначаются значками от M0 до M29 в соответствии с возрастанием номеров морских аномалий с увеличением возраста, в отличие от нумерации, принятой для интервала мел—антропогеновый период, в интервале юра—мел, нумеруются хроны обратной полярности.

8.8.9. Суперхроны преимущественной полярности

Палеомагнитные исследования показали, что для длительных интервалов геологического времени было характерно какое-либо *преимущественное состояние полярности*. На протяжении времени *преимущественно нормальной полярности* магнитное поле всегда или почти всегда имело нормальную полярность. Противоположное состояние свойственно для интервалов *преимущественно обратной полярности*. Такое состояние магнитной полярности, когда происходят симметричные изменения полярности, характерно для интервалов преимущественно *смешанной полярности*.

Для иерархии магнитостратиграфических терминов для уровня выше, чем «хрон», применяется термин «суперхрон». Для идентификации суперхронов используются название периода или периодов, которые они охватывают, например:

Современный

KQ—M	Суперхрон смешанной полярности мелового-четвертичного (антропогенового) периодов
K—N	Меловой суперхрон нормальной полярности
JK—M	Юрско-меловой суперхрон смешанной полярности (неопределенный интервал, отвечающий суперхрону)
PT—M	Пермско-триасовый суперхрон смешанной полярности
PC—R	Пермско-каменноугольный суперхрон обратной полярности
C—M	Каменноугольный суперхрон смешанной полярности

Для оставшихся подразделений выделение преимущественной полярности еще на стадии разработки.

¹⁴⁶ По другим данным 84.

¹⁴⁷ Т. е. в промежутке от сантона до середины оксфорда.

¹⁴⁸ Обозначается как «Cretaceous magnetic quiet zone», индекс хронозоны C34.

8.8.10. Применение палеомагнитных исследований в стратиграфии

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 J_n , скалярным параметрам).
- Палеомагнитную корреляцию региональных и местных стратиграфических схем и их сопоставление с общей стратиграфической шкалой.
- Создание единой магнитостратиграфической шкалы.

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

1. Изучение стратиграфии четвертичных и плиоценовых отложений, определения нижней границы четвертичной системы.
2. Разработка и обоснование геохронологической шкалы для 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^0 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.

8.8.11. Методика палеомагнитного опробования

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 образований, чтобы избежать пересчетов, в качестве плоскости маркировки стараются выбрать плоскость напластования. Линию падения наносят на плоскость маркиров-

ки со стрелкой в сторону падения, азимут этой линии и угол ее наклона (угол падения) измеряют и записывают; при горизонтальном залегании стрелку направляют на север.

8.8.12. Некоторые проблемы магнитостратиграфии

Одной из основных проблем магнитостратиграфии является поиск дополнительных диагностических признаков для выделения. Это связано с возможностью ошибочной корреляции разновозрастных единиц одной полярности и вероятной неопределенностью при выборе ее ранга, если основываться только на полярности. Кроме полярности и координат палеомагнитных полюсов, позволяющих идентифицировать лишь крупные подразделения палеомагнитной шкалы — мегазоны, гиперзоны и иногда суперзоны, такими признаками могут быть, например, какие-либо характерные черты поведения поля.

При построении магнитостратиграфической шкалы для раннего палеозоя и докембрия остро стоит проблема полярности, т.е. какой из двух полюсов считать северным.

Палеомагнитные построения и выводы основываются главным образом на синхронной, одновозрастной горной породе намагниченности. Компонент естественной остаточной намагниченности выделяется любым из методов или даже их совокупностью, далеко не всегда синхронен осадку или магматической породе. Горная порода во время своей «жизни» могла погружаться на глубину, подвергаться динамическим нагрузкам, претерпевать различные физико-химические изменения, в результате которых частично или полностью разрушается синхронная намагниченность и возникает новая, метахронная намагниченность J_n^m — возраст которой моложе возраста породы.

Метахронная намагниченность, с одной стороны, является помехой при изучении геомагнитного поля эпохи образования пород и составлении палеомагнитной геохронологической шкалы. С другой — она может дать определенную информацию о геомагнитном поле в последующие эпохи и сведения о дальнейшей геологической жизни пород и всего региона.

В настоящее время в качестве основной задачи для магнитостратиграфии является построение шкал геомагнитной полярности и опорных рядов координат палеомагнитных полюсов для венда и протерозоя.

8.9. Сейсмостратиграфия

К наиболее распространенным геофизическим методам, применяемым в стратиграфии, относят сейсмические, палеомагнитные исследования, а также каротаж. Из всех средств, затрачиваемых в мире на

геофизические исследования, около 90 % приходится на сейсмические исследования. Фундаментальные представления о строении земной коры, ее внутренних слоях — гранитном, базальтовом, о важных границах, разделяющих эти слои, — границе Конрада, границе между гранитным и базальтовым слоем, границе Мохоровичича, разделяющей земную кору и мантию, были получены в результате внедрения сейсмических методов исследований. Новые научно-технические достижения в сейсморазведке позволили решать и другие, более сложные задачи в таких фундаментальных отраслях геологии, как стратиграфия и литология. Именно в этом смысле был предложен американскими геофизиками Вейлом, Митчумом и Тоддом термин «сейсмостратиграфия».

При сейсмических исследованиях картину внутреннего строения геологических недр наблюдают с помощью *сейсмических*, или *упругих*, волн, которые распространяются в различных породах с различной скоростью. Скорость распространения волн зависит от разных типов пород, их пористости и плотности. Принцип работы состоит в следующем. В какой-либо точке возбуждают упругие волны. Обычно сейсмические волны возбуждают с помощью взрывных источников с использованием скважин. Другие способы, например, сбрасывания груза, электродинамической вибрацией и др. нашли ограниченное применение, т. к. генерируемая при этом энергия обычно недостаточна.

Точки, которые служат источниками возбуждения упругих волн, называются *пунктами взрыва*. А ряд других точек, которые служат для регистрации времени прихода энергии уже отраженных и преломленных волн от границ разделов между слоями в земле, называют *пунктами приема*. Отраженные и преломленные волны достигают поверхности Земли и регистрируются специальными приборами — *сейсмоприемниками*. Колебания сейсмоприемников преобразуются в фотоизображения вертикального разреза толщи пород. Такие разрезы в сейсморазведке называются *временными* разрезами (рис. 22).

В сейсморазведке существует понятие «*акустическая жесткость*» (произведение плотности пород на скорость распространения в них упругих волн). Чем больше перепад акустической жесткости на границе раздела двух сред, тем выше интенсивность отраженных волн. Границы пород, на которых происходит отражение волн, называют отражающими. Если перепад акустической жесткости более 10 %, то такие отражающие границы называют *сильными*, *опорными* или *сейсмическими реперами*. В разрезах, как правило, опорные границы единичны, поэтому были разработаны методики регистрации слабых отражающих границ, которые заполняют пространство между сейсмическими реперами. Интерпретация таких границ и сопоставление с данными бурения в хорошо изученных районах позволяет получать по временным разрезам значительный объем стратиграфической информации.

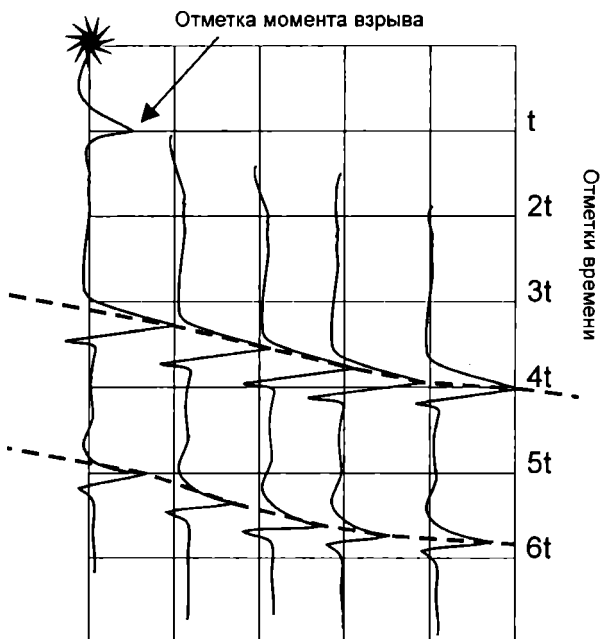


Рис. 22. Пример временного разреза

На современных сейсмических разрезах выделяются не только изображения от сильноотражающих границ (сейсмических реперов), но и от большого количества менее интенсивных границ, заполняющих поля между сейсмическими реперами. Оказалось, что многие слабые границы располагаются не параллельно основным границам, а под разными углами к ним. Такая ориентировка неслучайна и отражает фундаментальные свойства реальных сред, которые используются при сейсмостратиграфическом анализе.

Сейсмические отражающие границы, как показал сейсмостратиграфический анализ, в масштабе геологического времени могут считаться изохронными. Это означает, что можно определить последовательность напластования и провести сопоставление разновозрастных толщ, т.е. выполнить основные стратиграфические процедуры. Ход рассуждений здесь следующий. Как выяснилось, скачок акустической жесткости на границах толщ обусловлен либо достаточно резкими изменениями условий осадконакопления, либо перерывом в осадконакоплении. Отложения, сформировавшиеся до перерыва, будут более плотными (с большей скоростью упругих волн), чем отложения, накопившиеся после перерыва. Скачок акустической жесткости на этом рубеже (сильная отра-

жающая граница) будет изображать рельеф дна палеоводоёма в момент начала нового этапа осадконакопления.

Другая возможность сейсмостратиграфического анализа — выявление поверхностей стратиграфических несогласий. Несогласия фиксируются по сближению отражающих границ и по выклиниванию вблизи сейсмических реперов. По границам несогласий сейсмостратиграфические разрезы расчленяются на объёмные геологические тела разных размеров, называемые сейсмическими комплексами и сейсмическими фациями.

Временной разрез является временным представлением геологического разреза, т. е. отражающие границы изображаются на нем в виде функции времени пробега волны от пункта взрыва до пункта регистрации. Если скорости распространения сейсмических волн до целевых отражающих горизонтов известны с достаточной точностью, то временной разрез можно трансформировать в глубинный. Существуют несколько методических приемов преобразования, но основа их одинаковая: времена отраженных волн преобразуются в глубины.

Глубинные сейсмические разрезы всегда точно соответствуют реальным геологическим разрезам. Для обеспечения достоверной геологической интерпретации сейсморазведочных данных нужно располагать пространственными (площадными, региональными) наблюдениями и покрыть исследуемую площадь достаточно плотной сетью увязанных между собой профилей (рис. 23).

Если таковые исследования проведены, то по полученным данным строят следующие карты.

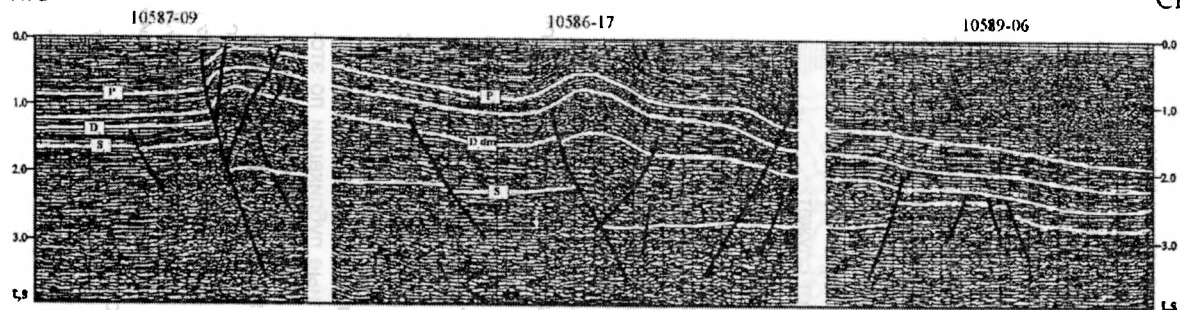
Первая из составляемых карт — карта *изохрон*¹⁴⁹ — представляет площадное распределение времен отражения от некоего отражающего горизонта. Трассирование любого горизонта начинается в том месте, где он четко определен и надежно стратифицирован. Для стратиграфической привязки отражающих горизонтов лучше всего используются данные *сейсмокаротажа*. Прежде всего; стратиграфически привязанный сейсмический горизонт нужно проследить по всем другим профилям. Следующая операция — на карту расположения сейсмических профилей выписываются значения времен отражения. Точки карт, имеющие одинаковые значения времени отражения, соединяются линиями, и в результате мы получаем карту изохрон. На ней изображаются времена пробега отдельных отражений до картируемого отражающего горизонта. С целью представления глубинного строения района обычно строят карты изохрон по нескольким отражающим горизонтам.

Преимущество карт изохрон заключается в сравнительной просто-

¹⁴⁹ Изохрона — линия, соединяющая точки, достигнутые сейсмическими волнами за один и тот же промежуток времени.

ЮЗ

СВ



ЮЗ

Ижемская
впадина

Печоро-Кожвинский мегавал

СВ

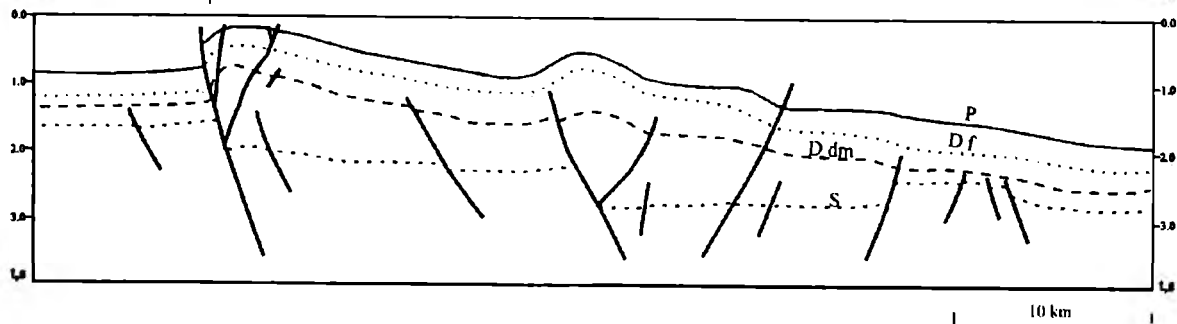


Рис. 23. Пример глубинного сейсмического разреза (По Н. А. Малышеву)

те их построения по сейсмическим данным. Их главный недостаток состоит в том, что аномалии¹⁵⁰ на картах изохрон в действительности являются аномалиями скоростной характеристики разреза. Подобные трудности интерпретации возрастают с увеличением сложности тектонического строения изучаемых структурных элементов. Кроме того, с глубиной уменьшается точность определения средней скорости из-за увеличения числа слоев с неизвестными скоростями. А изменение точности скорости на 5 % может привести к ошибке в определении глубины на 200 м для глубины 4 км.

Именно из-за неопределенности, содержащейся в картах изохрон, выбор точек заложения поисковых скважин производится по структурным картам, т. е. по картам изоглубин залегания отражающих горизонтов, и только при весьма простых геологических и тектонических условиях можно для этих целей пользоваться картами изохрон. Исходными данными для построения структурных карт служат:

- 1) временные сейсмические разрезы;
- 2) глубинные сейсмические разрезы¹⁵¹;
- 3) карты изохрон, трансформированные в глубинные.

На карту расположения сейсмических профилей выносят значения глубин залегания отражающих горизонтов, например глубин, вычисленных для пикетов взрыва. Затем одинаковые значения глубины залегания определенного горизонта соединяются между собой, и получается *структурная карта* (рис. 24), которая напоминает топографическую, только вместо изолиний превышения рельефа местности над уровнем моря на ней нанесены линии изоглубин. В данном способе построения структурных карт предполагается, что закартированный отражающий горизонт однозначно прослежен на всех сейсмических разрезах и все разрывные нарушения учтены и вынесены на карту. Имеются программы вычисления на ЭВМ глубин залегания отражающих горизонтов, выделяемых на временных разрезах.

Вместе с термином «сеймостратиграфия», заимствованным из англоязычной литературы, в отечественные публикации по этой проблеме вошел термин «*сейсмофация*». В англоязычной литературе под «сейсмофацией» понимается трехмерное тело, образуемое группой отражений (двухмерных поверхностей), которым свойствен набор параметров, отличный от параметров соседних сейсмофациальных единиц. Пространственная характеристика сейсмофациальной единицы складывается из конфигурации ее внешних поверхностей и конфигурации поверхностей синфазности, расположенных внутри ее.

¹⁵⁰ Аномалия [гр. *anomalía*] — отклонение от нормы, от общей закономерности, неправильность.

¹⁵¹ Конечным итогом является построение геологического разреза.



Рис. 24. Пример структурной карты (подошва триасовых отложений)
(по Н. А. Малышеву)

Таким образом, американские авторы, которые ввели в геолого-геофизическую терминологию понятие «сейсмофация», употребляют термин «фация» совсем в ином смысле, нежели отечественные литологи, понимающие фацию как условия осадконакопления, единицу геологической среды осадконакопления, единицу палеоландшафта. В конечном счете «сейсмофация» представляет собой определенную форму сейсмической записи, как правило, отражающую характер напластования внутри исследуемой толщи.

Сейсмостратиграфический анализ основывается на изучении сейсмогеологических поверхностей раздела как внешних граничных поверхностей осадочных комплексов, так и «сейсмофаций», т. е. характера и напластований внутри границ. Цель анализа — расчленение сейсмического разреза на некоторые аналоги осадочных комплексов — сейсмические комплексы, генетически увязанные с тектоноседиментационными особенностями развития и строения бассейна. На начальном этапе сейсмостратиграфического анализа прежде всего выделяются стратиграфические несогласия, положительные и отрицательные тектонические формы (грабены, горсты, диапиры и др.), крупные зоны выклиниваний, а затем и более мелкие объекты, с которыми генетически могут быть связаны неантиклинальные ловушки (крупные органогенные постройки, останцы, врезы и т. д.). Производится также сопоставление выделенных комплексов с региональными и общими стратиграфическими шкалами, определяются возраст и соответствие этих комплексов известным стратонам (ярусам, подъярусам, свитам, пачкам и т. п.).

Сейсмофациальный анализ основывается на изучении внутреннего строения осадочных комплексов по сейсмическим данным и имеет целью выяснение палеотектонических и палеогеографических условий формирования осадочных комплексов, их формационной принадлежности. Базовой информацией этого анализа служат типы сейсмофаций, интерпретируемые с палеотектонической (прогибание, компенсированное или некомпенсированное осадконакопление) и палеогеографической точек зрения.

8.9.1. Основные положения сейсмостратиграфического анализа

Основные конструктивные положения сейсмостратиграфического анализа базируются на признании хроностратиграфической¹⁵² значи-

²⁰ (*Chronostratigraphic units*) — подразделения г. п., рассматриваемые в зарубежной литературе исключительно как свидетельства определенных интервалов геологического времени. Термин считается излишним, т. к. любое правильно выделенное стратиграфическое подразделение является одновременно и «хроностратиграфическим».

мости сейсмогеологических границ и заключенных между ними сейсмических комплексов при соответствии последних определенным генетическим осадочным формациям и их сочетаниям.

Хроностратиграфические возможности сейсмического метода

Под стратиграфическим горизонтом в узком смысле понимается синхронный горизонт, обеспечивающий хронологическую корреляцию геологических пород. Именно в этом, хроностратиграфическом смысле, чаще всего и применяется понятие стратиграфической корреляции в сеймостратиграфии.

Основополагающей является гипотеза о том, что сейсмические отражающие границы приурочены к поверхностям напластования, т.е. скрытым или явным перерывам осадконакопления, и служат хроностратиграфическими реперами. Это позволяет определять по осям синфазности последовательность напластования и проследивать границы относительно разновозрастных толщ, что, в конечном счете, приводит к решению основной задачи сеймостратиграфического анализа — расчленению разреза на условно разновозрастные толщи. В этом случае отражающие горизонты, приуроченные к кровле и подошве сейсмического комплекса, фиксируют полный возрастной диапазон комплекса в областях согласного залегания и уменьшение этого диапазона в районах несогласного залегания. Но и несогласие оказывается важным в хроностратиграфическом смысле, поскольку породы, расположенные выше несогласия, практически всегда более молодые, чем расположенные ниже (за исключением постседиментационно опрокинутых слоев). Если сейсмические горизонты увязываются с био-стратиграфическими границами, то сейсмические комплексы могут оказаться сопоставимыми со стандартными временными стратиграфическими подразделениями (системами, отделами, ярусами, свитами и т. п.).

Сейсмические границы, как правило, соответствуют поверхностям перерывов в осадконакоплении. В общем случае две любые смежные толщи, разделенные перерывом в осадконакоплении, следует считать несогласно залегающими, поскольку длительный перерыв всегда сопровождается определенным размытием отложений на отдельных участках бассейна, в результате чего верхняя толща оказывается залегающей на разновозрастных слоях. Точно также литологически однородная и даже примерно выдержанная по мощности песчаная или карбонатная пачка, сформированная в процессе трансгрессии палеоморя, может оказаться существенно разновозрастной, омолаживаясь в направлении перемещения береговой линии.

Однако в практике сейсморазведки несогласным залеганием обычно считают такое, которое фиксируется визуально обнаруживаемым по сейсмическим разрезам угловым несогласием.

8.9.2. Сейсмостратиграфические подразделения

Сейсмостратиграфические подразделения¹⁵³ — геологические тела, которые выделяются в сейсмометрических границах. Последние представлены основными типами — сейсмогоризонтами и сейсмическими комплексами.

Сейсмогоризонт — поверхность внутри интервала геологического разреза, в котором формируется латерально устойчивый (когерентный) сейсмический сигнал, отвечающий волне определенного типа (отраженной, преломленной, обменной). Сейсмогоризонт соответствует избираемой особенности записи сейсмического сигнала (обычно главному экстремуму или вступлению) и его следует соотносить с латерально наиболее устойчивым и резким литологическим разделом внутри волнообразующей толщи, который играет существенную (иногда доминантную роль) в образовании сейсмического сигнала.

*Сейсмические комплексы:
принципы выделения и таксономия*

Сейсмический комплекс представляет собой акустическое отображение осадочного комплекса пород или отдельных его элементов. Пространственная характеристика сейсмического комплекса складывается из геометрии его внешних поверхностей (сейсмоморфологии) и конфигурации поверхностей синфазности внутри него (сейсмофаций).

Макрокомплекс сейсмический ($МК_C$) — сейсмический образ трехмерного геологического тела, ограниченного сейсмогеологическими границами, в общем случае связанными с региональными поверхностями несогласий или перерывами осадконакопления, определяемого набором устанавливаемых по сейсмическим материалам морфологических, текстурных (сейсмофациальных), параметрических характеристик и отвечающего осадочному формационному комплексу, формирующемуся в течение крупных этажей геологической истории.

Мощность отложений, охватываемых $МК_C$, может соответствовать сотням метрам — нескольким километрам. В стратиграфической номенклатуре $МК_C$ может соответствовать ярусу, подъярусу.

Комплекс сейсмический ($К_C$) — сейсмический образ трехмерного геологического тела, ограниченного, с одной стороны, (в подошве или в

¹⁵³ Стратиграфический кодекс.

кровле) сейсмогеологической границей (в общем случае связанной с поверхностью несогласия или перерывом седиментации), а с другой — слоевой границей (скрытым перерывом), определяемой набором морфологических, сейсмофациальных и параметрических характеристик и отвечающего семейству осадочных формаций, формирующихся на определенных (трансгрессивных или регрессивных) фазах тектонических этапов. Мощности комплекса — в пределах 0,1—1 км.

Подкомплекс сейсмический ($ПК_C$) — сейсмический образ трехмерного геологического тела, ограниченного слоевыми разделами или эрозийными поверхностями, не приводящими к образованию видимого несогласия в залегании с ниже- и вышерасположенными телами, определяемого совокупностью морфологических, сейсмофациальных и параметрических характеристик и соответствующего одной или несколькими генетически связанным, сопряженным осадочным формациям. Мощности ($n \times 10$)—100 м.

Клиньформа образуется при латеральном заполнении бассейна осадками в условиях некомпенсируемого погружения его дна и обычно представлена набором однонаправленных клиньев сигмовидной формы.

Покров — породнослоевая ассоциация, образующаяся при вертикальной аккреции¹⁵⁴ осадочной толщи в условиях обычно компенсируемого осадконакоплением погружения и представляющая собой комплекс параллельно-слоистых субгоризонтальных в палеоплане отложений. Покровы образуются как в течение стабильной в тектоническом отношении стадии развития бассейна, так и при его погружении или подъеме. Соответственно различают покровные комплексы стабильного, трансгрессивного и регрессивного строения. Кроме того, выделяют конденсированные покровы, формирование которых в отличие от обычных покровов происходит в обстановке региональной некомпенсации.

Микрокомплекс сейсмический ($МК_C$) является составной частью $ПК_C$ (подкомплекса сейсмического) и представляет собой микроклиноформу или микропокров, образованный за счет цикличности колебаний уровня моря. Микрокомплексы, как правило, отделяются друг от друга некоторым перерывом в осадконакоплении, поэтому к их поверхностям могут приурочиваться интенсивные и протяженные сейсмические границы. Мощность n —($n \times 10$) м. Обычно соответствует пачке слоев.

Слой сейсмический (СС) — составная часть $МК_C$. Он представляет собой сейсмическое изображение геологического слоя, объединяющего отложения с общими литологическими признаками, закономерно изменяющимися по простирацию в зависимости от изменения фациальной обстановки осадконакопления.

¹⁵⁴ Аккреция — наращивание.

Отражающая поверхность (ОП) является не поверхностью, а трехмерным геологическим телом с мощностью меньшей разрешающей способности сейсморазведки, вследствие чего сейсмическое изображение такого тела имеет вид площадки при однополупериодном представлении элементарного сейсмического сигнала. В стратиграфическом отношении ОП соответствует участкам перехода от одного слоя к другому или маломощным отдельным слоям.

В рассмотренных определениях сейсмических комплексов используется ряд признаков (морфологических, сейсмофациальных (текстурных), параметрических), и по каждому из этих признаков границы могут быть установлены различно, так что контуры отдельных сейсмических признаков могут не совпадать.

8.9.3. Эвстатические колебания уровня Мирового океана

Как уже было показано, сейсмические разрезы дают возможность определения относительного возраста по принципу Стенона. Датировка осадочных толщ в единицах общей стратиграфической шкалы, производимая биостратиграфическим методом, становится в этих условиях невозможной. Для этого сотрудниками фирмы «Еххон» (Vail et al) был предложен новый метод, основанный на гипотезе циклических колебаний уровня Мирового океана.

Явления глобальных изменений уровня моря на протяжении геологического времени вызывают все возрастающий интерес.

Изменения уровня моря привлекаются для объяснения геологических явлений с XVIII в., со времен Дж. Геттона. Время и амплитуда этих изменений рассчитывались исходя из следующих факторов:

1) площади континентов, остававшейся погруженной на протяжении определенных интервалов времени в прошлом;

2) величины изменений скорости спрединга океанических хребтов во времени. При этом подходе ошибки обусловлены использованием только одной гипсометрической кривой на протяжении времени;

3) данных сейсмической стратиграфии. Определенная последовательность стратиграфических свойств устанавливается по сейсмической записи, на которой выявляются поверхности отражения сейсмических волн. Эти поверхности отвечают изменениям уровня моря и могут быть скоррелированы с глобальными циклами уровня моря.

Построение концепции изменяющегося уровня моря основывалось на нескольких последовательных стадиях изучения. В начале были проинтерпретированы сейсмические разрезы всех континентов (исключая Антарктиду) и прилегающих морей. Они рассматривались как хроностратиграфические схемы и были проконтролированы биостратиграфическими данными. Затем исходя из этих хроностратиграфи-

ческих схем были построены схемы циклов относительного изменения уровня моря для каждого изученного региона. Наконец составлена интегрированная схема глобальных циклов, которую рассматривают «просто как модальное среднее из скоррелированных региональных циклов».

На региональных и глобальных схемах циклов различаются циклы второго порядка, или суперциклы продолжительностью 10—80 млн лет, и циклы третьего порядка продолжительностью 1—10 млн лет.

Цикл включает в себя повышение уровня моря, его стабилизацию и последующее понижение. В начале цикла (трансгрессия) осадконакопление идет на шельфе. В конце цикла осадконакопление смещается на континентальный склон и абиссальную равнину, а осадки шельфа размываются. Анализ временных разрезов позволяет строить графики колебаний уровня моря и выделять интервалы очень высокого (highstand, HST) или очень низкого (lowstand, LST) его стояния. Сопоставление построенных графиков с мировой шкалой дает приблизительную датировку возраста осадочных толщ, не вскрытых бурением.

8.10. ГИС — геофизические исследования скважин

Методы геофизических наблюдений в скважинах и способы интерпретации полученных данных образовали особую область исследований. Существенной отличительной особенностью ГИС является то, что измерения производятся не на земной поверхности, а в скважине, т. е. по вертикальным профилям.

Бурение скважин дает возможность геологам получать непосредственную информацию о стратиграфии, фациальном составе, литологии, тектоническом строении и многих других особенностях изучаемой территории. Анализируя скважинные данные мы узнаем о непрерывном распределении петрофизических свойств горных пород и их стратиграфической приуроченности к определенным отражающим горизонтам. При изучении геологических разрезов скважин современная геологическая служба располагает большим числом различных методов исследования, основанных на изучении петрофизических характеристик пород.

Изучение разреза нижних структурных этажей, в том случае, если они не выходят на дневную поверхность и к ним приурочены важные полезные ископаемые, проводится при помощи бурения *опорных и параметрических скважин*.

Бурение опорных скважин проводится с целью вскрыть типичные разрезы крупных регионов или структурно-фациальных зон, параметрических — обычно для геологической интерпретации геофизических материалов.

При обработке материалов из опорных и параметрических скважин решаются многие задачи, важнейшими среди которых являются:

1. Изучение вещественного состава, условий залегания и мощности пород, вскрытых скважиной.

2. Выделение в разрезе стратиграфических подразделений и установление их возраста.

3. Корреляция выделенных стратиграфических подразделений со вскрытыми соседними скважинами или обнажающимися на поверхности в смежных регионах.

4. Установление необходимых для интерпретации физических свойств разреза, выделение каротажных реперов и привязка отражающих сейсмических горизонтов к разрезу.

Геофизические методы исследования скважин (каротаж) — один из разделов прикладной геофизики. Изучение геологических разрезов скважин — наиболее важное направление. При этом используются электрические, магнитные, радиоактивные, термические, акустические, механические, геохимические и другие свойства горных пород. Применение их основано на изучении естественных и искусственных физических полей различной природы. Интенсивность того или иного поля определяется разными факторами, в первую очередь физическими свойствами горных пород — электрическим удельным сопротивлением, диэлектрической и магнитной проницаемостью, электрохимической активностью, радиоактивностью и т. д.

При геофизических исследованиях горные породы и полезные ископаемые изучаются в разрезах скважин. Скважина представляет собой вертикальную или наклонную цилиндрическую горную выработку, длина которой значительно больше ее диаметра. Она состоит из трех основных частей: устья — ее верх, забоя — ее дно и ствола — вся цилиндрическая часть от устья до забоя.

Все методы каротажа представляют собой измерение значений каких-либо физических свойств пород, слагающих стенки скважин, специальным устройством (зондом). Результатом каротажа являются диаграммы, по длинной оси которых последовательно отмечают в определенном масштабе (обычно 1:500 и 1:200) глубины скважины (от устья до забоя), а по короткой оси — значения измеряемых параметров.

Вскрывая толщи горных пород, скважина нарушает их естественное залегание. В результате частично изменяются физико-химические условия окружающей среды и петрофизическая характеристика пород, прилегающих к стенке скважины. Изменяются также первоначальные геостатическое давление и температура.

Горные породы обладают различными механическими свойствами. Плотные цементированные породы при разбуривании вблизи стенки

скважины не разрушаются; рыхлые, хрупкие, трещиноватые породы, наоборот, размываются промывочной жидкостью, вследствие чего образуются каверны, т. е. увеличивается диаметр ствола скважины.

Вскрытие пород при бурении производится при давлении, превышающем пластовое, поэтому пористые породы забиваются промывочной жидкостью и на их поверхности образуется глинистая корка. Таким образом образуется зона проникновения фильтрата промывочной жидкости и в этой зоне физические свойства пород изменяются. Это является препятствием для установления истинных параметров породы.

Чтобы устранить это влияние на показания геофизических методов, созданы специальные устройства, позволяющие увеличить глубинность метода (в радиальном направлении), и разработаны специальные способы интерпретации.

Наиболее полная информация о глубинах залегания границ слоев и особенностях их литологического состава получается при сочетании следующих видов каротажа: электрического (измерение кажущегося электрического удельного сопротивления — КС, потенциал- и градиент-зондами и потенциалов естественной, собственной поляризации — ПС), радиоактивного (измерение естественного гамма-излучения — ГК, интенсивности вызванной радиоактивности гамма-излучения радиационного захвата нейтронов — НГК), метода кавернометрии — КВ (измерение диаметра скважины). В некоторых случаях важное значение приобретают индукционный, акустический и другие виды каротажа. В обсаженных скважинах возможно использование только радиоактивных методов.

Первая задача, решаемая с помощью каротажа, — это определение литологического состава и глубин залегания кровли и подошвы слоя в скважинах. Наиболее важны для определения литологического состава слоев по каротажным диаграммам не абсолютные значения тех или иных параметров, зарегистрированных на диаграмме, а их соотношения (рис. 25).

Глубины залегания границ слоев горных пород, пройденных скважиной, могут быть достоверно установлены лишь по комплексу каротажных диаграмм. Несмотря на нередко встречающуюся резкую смену слоев с весьма различными физическими свойствами в разрезе, на диаграммах этот переход обычно отражается постепенным изменением регистрируемой величины.

Другой важной областью использования геологической интерпретации каротажа является корреляция разрезов. При этом решаются различные задачи: сопоставляются согласно залегающие толщи пород, каротажные диаграммы которых мало меняются от скважины к скважине; устанавливаются фациальные замещения; выявляются угловые несогласия и разрывные нарушения, осложняющие нормальную стратигра-

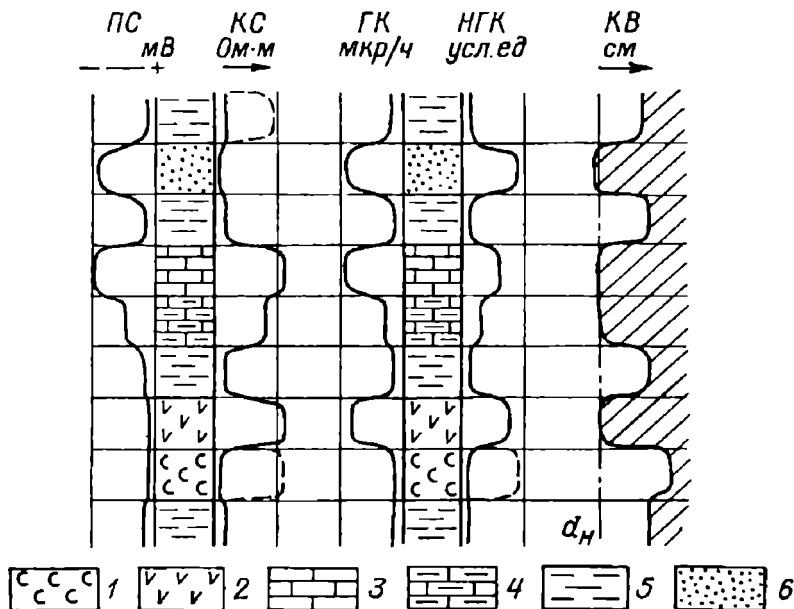


Рис. 25. Схематическая характеристика основных типов осадочных горных пород на наиболее часто используемых диаграммах каротажа (Практическая стратиграфия).

Условные обозначения: 1 — каменные и калийные соли; 2 — ангидриты; 3 — известняки и доломиты; 4 — глинистые известняки и доломиты; 5 — глинистые породы; 6 — алевритово-песчаные породы; d_n — номинальный диаметр скважины

фическую последовательность отложений. Достоверная корреляция разрезов скважин, особенно если они вскрывают континентальные или разнофациальные отложения, возможна лишь при контроле материалов геофизических исследований данными палеонтологического, минералого-литологического и геохимического изучения керна, шлама и проб, отобранных боковым грунтоносом.

В основу корреляции разрезов скважин по данным каротажа, как и при корреляции обнажений, положены выделение и прослеживание маркирующих пластов. Нередко удается разделить на пачки с разными значениями сопротивления или радиоактивности визуально однообразную толщу. Последующие детальные литолого-минералогические исследования обычно подтверждают такое расчленение и объясняют его природу.

Маркирующие пласты должны обладать выдержанной в разных разрезах конфигурацией диаграмм, резко отличной от таковой вмещающих образований.

В качестве маркирующих горизонтов в терригенных толщах обычно используют прослой известняков, доломитов, мергелей, пеплов, туфов, песчаников и ангидритов, в карбонатных — слои глин или алевроитово-глинистые пачки, глинистые известняки, мергели и плотные известняки, реже ангидриты, в соленосных — слои ангидритов, доломитов, пачки тонкого переслаивания разных, преимущественно несоляных пород. Нередко маркирующими являются не отдельные слои, а их пачки.

8.10.1. Электрический каротаж

Электрокаротаж является наиболее широко распространенным методом геофизического исследования скважин. Суть его состоит в непрерывном измерении по необсаженному стволу скважины естественных (спонтанных) потенциалов (ПС¹⁵⁵), т. е. потенциалов, возникающих главным образом при взаимодействии промывочной жидкости и пластовых вод, и кажущегося удельного сопротивления горных пород (КС), обусловленного преимущественно удельным сопротивлением поровых вод и отчасти сопротивлением самой породы.

По происхождению изучаемого поля методы электрометрии скважин делятся на две большие группы — естественного и искусственного электромагнитного поля, а по частоте (т. е. изменении его во времени) — на методы постоянного, квазипостоянного и переменного поля. Рассмотрим только некоторые из них.

Методы потенциалов собственной поляризации горных пород (ПС¹⁵⁶)

В группу методов входят обычный метод потенциалов ПС, метод градиента, метод селективных зондов, метод квазистатических потенциалов, метод специальных зондов, метод электродных потенциалов (МЭП) и метод гальванических пар. Методы потенциалов собственной поляризации горных пород основаны на изучении естественного стационарного электрического поля в скважинах, образование которого связано с физико-химическими процессами, протекающими на поверхностях раздела скважин, — породы и между пластами различной литологии. На поверхностях раздела образуются двойные электрические слои, различные потенциалы которых создают определенные величины напряженности электрического поля между горными породами и скважиной.

¹⁵⁵ В геофизической литературе иногда обозначается сокращением СП. Сокращение ПС распространено в геологической литературе.

¹⁵⁶ Единицы измерения мВ.

Потенциалы собственной поляризации породы обусловлены следующими физико-химическими процессами:

1) диффузией солей из пластовых вод в промывочную жидкость или наоборот, а также адсорбцией ионов на поверхности минеральных частиц горной породы;

2) фильтрацией вод из промывочной жидкости в породы и пластовых вод в скважину;

3) окислительно-восстановительными реакциями, происходящими в породах и на контакте их с промывочной жидкостью и металлами.

Способность горных пород поляризоваться под действием указанных физико-химических процессов называется естественной электрохимической активностью. В результате этих процессов возникают диффузионно-адсорбционные $U_{да}$, фильтрационные $U_{ф}$ и окислительно-восстановительные $U_{ов}$ потенциалы.

Величина и знак потенциалов $U_{да}$, $U_{ф}$ и $U_{ов}$ определяется соотношениями минерализации пластовых вод и фильтрата промывочной жидкости, минеральным составом и структурой горных пород и другими факторами. Измерение потенциалов естественного электрического поля дает возможность получать информацию о литологии разреза скважин и коллекторских свойств пород, о наличии в них полезных ископаемых.

Обычный метод потенциалов (ПС)

Простейший и наиболее распространенный метод замера величины U в скважине заключается в следующем. Имеется два измерительных электрода М и N. Электрод М помещают в скважину и перемещают вдоль оси, электрод N располагают неподвижно на поверхности вблизи устья скважины (рис. 26). Электроды М и N в совокупности представляют собой простейший одноэлектродный зонд. Между электродами М и N включается измерительный прибор, например гальванометр. Регистрируется разность потенциалов ΔU , возникающая между электродами М и N:

$$\Delta U = U_M - U_N,$$

где U_M и U_N — разность потенциалов естественного электрического поля в точках М и N.

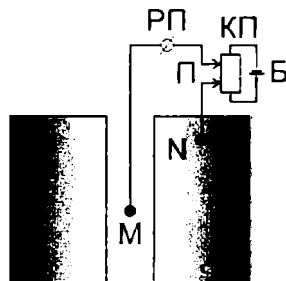
Методы кажущегося сопротивления (КС¹⁵⁷)

В группу методов кажущегося сопротивления (КС) входят метод обычных КС, боковое электрическое зондирование (БЭЗ), метод специальных зондов КС, микрозондирование (МКЗ) и резистивиметрия (Р).

¹⁵⁷ Единицы измерения Ом·м.

Рис. 26. Обычный метод потенциалов (ПС)

Условные обозначения: РП — регистрирующий прибор; КП — компенсатор поляризации; Б — батарея; П — потенциометр; М и N — электроды



Самым распространенным из методов каротажа является *каротаж сопротивлений*, основанный на изучении электрического сопротивления горных пород.

Физические основы методов кажущегося сопротивления

Методы кажущегося сопротивления основаны на изучении распределения искусственного стационарного и квазистационарного электрических полей в горных породах. Обычно кажущееся удельное сопротивление среды определяется по *наблюдаемым* значениям U , разности потенциалов ΔU или напряженности электрического поля E , созданного источником тока силой I с помощью питающих электродов А и В.

В случае, если среда однородна и изотропна, то величина сопротивления есть ее истинное удельное сопротивление, а в случае неоднородной среды — кажущееся удельное сопротивление.

Электрическое удельное сопротивление — свойство горных пород, на изучении которого основаны способы документации геологических разрезов скважин методами кажущегося и эффективного сопротивлений, сопротивления заземления, регистрации тока и индукции.

Среда, в которой измеряется сопротивление горных пород, неоднородна. Поэтому регистрируемое в скважине *кажущееся удельное сопротивление* горных пород, вычисляемое по приведенной ниже формуле, в общем случае не равно истинному удельному сопротивлению исследуемой среды.

$$S_k = K \Delta U / I,$$

где S_k — кажущееся удельное сопротивление горных пород, ΔU — разность потенциалов между измерительными электродами потенциал- и градиент-зондов¹⁵⁸, I — сила тока, питающего зонд, K — коэффициент зонда.

¹⁵⁸ Потенциал-зонд (ПЗ), или зонд с большим расстоянием между парными электродами АВ или MN, применяется для выделения относительно мощных пластов, градиент-зонд (ГЗ), или зонд с малым расстоянием между парными электродами АВ или MN, для выделения тонких слоев (соответственно уменьшается радиус исследования).

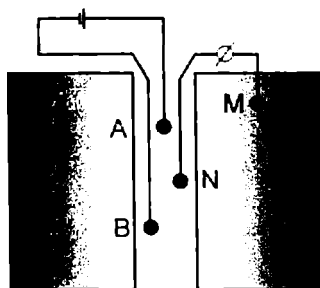


Рис. 27. Методы кажущегося сопротивления (КС)

Условные обозначения: А, В, М и N — электроды

Чтобы измерить электрическое сопротивление в скважине, между электродами А и В пропускают переменный ток низкой частоты. Электрод В опущен в скважину, а А может быть либо на дневной поверхности, либо опущен в ствол скважины. Потенциал измеряется с помощью электродов М и N таким образом, что измерительный электрод N находится в скважине, а другой М — на поверхности (рис. 27).

Сочетание электродов А, В, М и N, расположенных в скважинах на разных расстояниях друг от друга, образуют зонды КС. Существует много вариантов расположения в скважине и на поверхности указанных электродов.

Глубины исследования приблизительно равны удаленному расстоянию между электродами В и N. Поэтому чем больше это расстояние, тем больше глубина исследования вокруг ствола скважины. Но с увеличением размера зонда перестают выделяться тонкие прослои. При проведении электрического каротажа электроды опускаются в скважину на кабеле и производится непрерывная регистрация измерений либо на бумаге, либо в цифровом виде на магнитной ленте. Когда зонд проходит мимо геологической границы, происходит изменение сопротивления, которое отразится некоторым изменением величины регистрируемого сигнала. Результаты измерений представлены в виде каротажной диаграммы.

Методы сопротивления заземления (СЗ)

Методы сопротивления заземления (СЗ) включают незранированный метод, метод сопротивления экранированного заземления (СЭЗ), метод микрозондов и дивергентный метод.

В группу методов регистрации тока входят обычный токовый метод (ТМ), метод скользящих контактов (МСК) и экранированный токовый метод.

Эффективное удельное сопротивление изучают с помощью метода сопротивления экранированного заземления. Методы сопротивления заземления основаны на изучении изменения потенциала U_3 заземления А, перемещаемого по разрезу скважины. Величина U_3 определяется полным сопротивлением заземления R_A и силой тока I , отдаваемой заземлением в окружающее пространство (ствол скважины).

Термины «эффективное сопротивление» и «кажущееся сопротивление» близки по смыслу. Главное их различие состоит в том, что эффективное сопротивление всегда прямо пропорционально удельному сопротивлению сред, находящихся вблизи заземления, а кажущееся сопротивление, измеренное обычными зондами, может находиться в не прямой зависимости от сопротивления среды.

Геологическая интерпретация диаграмм кажущегося и эффективного сопротивления

Предварительный разрез исследуемой скважины расчленяют на горизонты различного сопротивления в соответствии с методическими рекомендациями (рис. 28).

На диаграммах выделяют следующие объекты: $a_1; a_2; a_3; a_4; a_5$ — пласты низких сопротивлений; $b_1; b_2; b_3$ — мощные пласты сопротивлений; b_4 — пласт высокого сопротивления малой мощности; c — проводящие пласты.

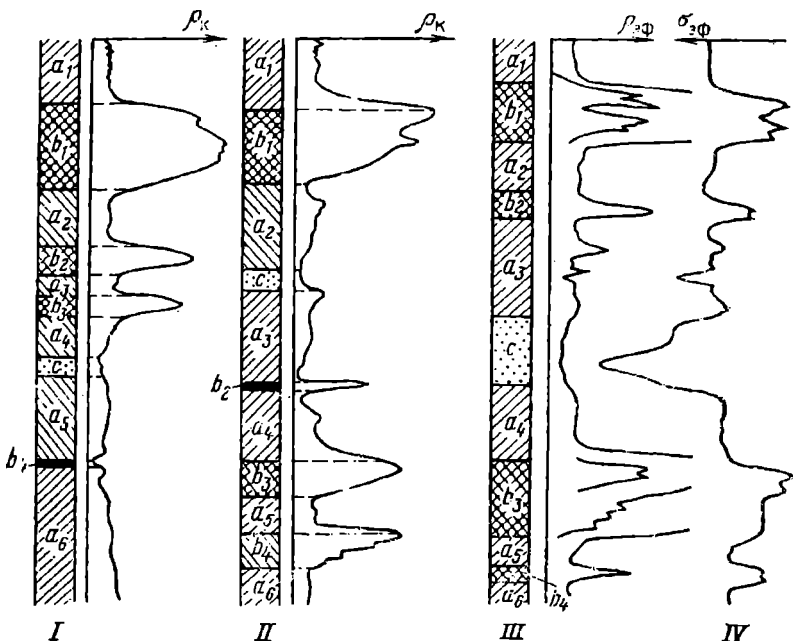


Рис. 28. Пример интерпретации диаграмм кажущегося и эффективного сопротивлений и электропроводности (по В. Н. Дахнову).

I — потенциал-зонд; II — обращенный градиент-зонд; III — экранированный зонд; IV — индукционный зонд; пласты: а — пониженного сопротивления, б — высокого сопротивления, с — низкого сопротивления

Пласты высокого сопротивления b_1 ; b_2 и b_3 отмечаются на диаграммах рельефными аномалиями высоких сопротивлений. Пласты с — пласты весьма низкого сопротивления.

При определении литологии пород основываются на знании электрических удельных сопротивлений геологических разностей, слагающих разрез скважин. Если скважины пробурены в песчано-глинистых отложениях, пропитанных высоко минерализованными водами, то низкие сопротивления характерны для глин и песков. Высокие сопротивления наблюдаются в нефтеносных и газоносных песках, в песчаниках, в крепких породах — сцементированных песчаниках, известняках, доломитах. Очень низкие сопротивления характерны для сульфидов, сильно пиритизированных пород, антрацитов, полуантрацитов и графитизированных сланцев.

Очень велико значение корреляции каротажных диаграмм между скважинами с целью уточнения стратиграфического разреза района. Посредством корреляции можно изучить характер изменения разреза и фациальные особенности. По данным каротажа нескольких скважин, распределенных по площади, можно коррелировать маркирующие пласты, основываясь на повторяемости характерных отрезков диаграмм, а также опираясь на петрофизические характеристики горных пород (пористость, водонасыщенность, нефтегазонасыщенность, содержание глинистого материала и др.).

В результате получают исчерпывающую информацию о литолого-фациальной характеристике исследуемого разреза.

8.10.2. Радиоактивные методы

Радиоактивный каротаж основан на измерении интенсивности естественного радиоактивного излучения осадочных пород (гамма-каротаж) или на изучении взаимодействия источников радиоактивного излучения и горной породы (гамма-гамма-каротаж и нейтронный каротаж).

Наибольшее значение при интерпретации геологических разрезов получил гамма-каротаж, применяемый как в необсаженных, так и в обсаженных скважинах.

По виду первичного (возмущающего) радиоактивного измерения все радиоактивные методы подразделяются на две большие группы: гамма-методы и нейтронные методы. В первую группу входят методы естественного гамма-поля и искусственного стационарного или переменного (импульсного) гамма-поля. Нейтронные методы изучают нейтронные поля и по частоте возмущающего поля делятся на методы стационарного нейтронного поля и методы переменного (импульсного) нейтронного поля.

Кроме основных методов радиометрии скважин, основанных на регистрации интегральной интенсивности гамма-излучения и нейтронного излучения, широко используются их спектральные модификации, с помощью которых исследуются не только интенсивность излучения, но и его энергетический спектр — спектрометрия естественного нейтронного и рассеянного гамма-излучения.

Целесообразность применения каждого метода и его модификации вытекает из конкретных решаемых геологических задач и геологических особенностей месторождения.

Гамма-каротаж (ГК¹⁵⁹ или ГМ)

Один из распространенных методов исследования скважин. По нему можно наиболее точно определить глубину залегания границ слоев.

Сущность метода и всех его модификаций заключается в изучении естественного гамма-поля по стволу скважины путем регистрации интегральной и дифференциальной интенсивности гамма-излучения, возникающего при самопроизвольном распаде радиоактивных элементов в горных породах.

Естественная радиоактивность горных пород в скважине измеряется специальным измерительным прибором — скважинным радиометром, который перемещается по стволу (обычно *снизу вверх*, как в большинстве методов ГИС), регистрируя изменение радиоактивности горных пород, слагающих разрез скважин.

Естественная радиоактивность горных пород в основном обусловлена присутствием в них естественных радиоактивных элементов — урана $^{238}_{92}\text{U}$ и продукта его распада радия $^{226}_{88}\text{Ra}$, тория $^{232}_{90}\text{Th}$ и радиоактивного изотопа калия $^{40}_{19}\text{K}$. Остальные радиоактивные элементы (рубидий $^{187}_{37}\text{Rb}$, самарий $^{147}_{62}\text{Sm}$, лантан $^{138}_{57}\text{La}$, лютеций $^{176}_{71}\text{Lu}$ и др.) характеризуются большими периодами полураспада и малыми концентрациями в горных породах, поэтому вклад в суммарную радиоактивность не вносят.

Содержание урана, тория и калия определяется физико-химической обстановкой, в которой формировались горные породы, а также вторичными процессами выщелачивания и переноса изотопов. Наиболее высокой радиоактивностью отмечаются магматические породы, самой низкой — осадочные, промежуточной — метаморфические. Содержание радиоактивных элементов в магматических породах закономерно связано с количеством кремнекислоты (основностью). Наиболее радиоактивные — породы кислого состава, минимальной радиоактивностью характеризуются породы ультраосновного состава. Радиоактив-

¹⁵⁹ Единицы измерения мкpp/ч.

ность осадочных пород в первую очередь определяется радиоактивностью породообразующих минералов.

Все породообразующие минералы по радиоактивности разбиты на четыре класса:

1) низкой радиоактивности, основные породообразующие минералы — кварц, кальцит, доломит, сидерит, ангидрит, гипс, каменная соль; 2) средней радиоактивности, породообразующие минералы — лимонит, магнетит, турмалин, корунд, роговая обманка, барит; 3) повышенной радиоактивности, породообразующие минералы — глины, слюды, полевые шпаты, каменные соли; 4) высокой радиоактивности, породообразующие минералы — циркон, ортит, монацит.

Диаграмма или кривая гамма-каротажа характеризует гамма-активность пересеченных скважиной горных пород. Концентрация радиоактивных элементов в определенных литологических разностях изменяется в нешироком диапазоне, что позволяет по показаниям интенсивности гамма-излучения проводить литологическое расчленение разрезов скважин.

Породы, содержащие промышленное скопление минералов урана и тория, отмечаются на кривой гамма-каротажа очень высокими содержаниями. Из осадочных пород, типичных для нефтяных и газовых месторождений, наиболее радиоактивны чистые глины. Менее радиоактивны песчаные известковистые глины, за ними идут глинистые пески, песчаники, чистые пески и карбонатные породы. Наименьшую радиоактивность имеют гидрохимические осадки и большая часть каменных углей. Встречаются песчаные (глауконитовые, монацитовые и полевовшпатовые пески) и карбонатные породы, обогащенные радиоактивными веществами.

В комплексе с материалами других методов промысловой геофизики данные исследования скважин гамма-каротажем используются для решения следующих геологических задач: литологическое расчленение разреза; корреляция геологического разреза; выделение полезных ископаемых (урановых, ториевых, марганцевых, железных и свинцовых руд, бокситов, апатитов, фосфоритов, кварцевых глин, зон окварцевания и др.); выделение пород — коллекторов; оценка глинистости пород, остаточной водонасыщенности и проницаемости пород-коллекторов. Подсчет запасов урановых и ториевых месторождений основан на данных гамма-метода.

Интерпретация диаграмм гамма-метода

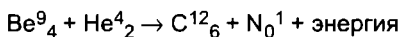
Интерпретация диаграмм гамма-метода начинается с расчленения разреза и выделения пород различной радиоактивности. Поскольку величина радиоактивности пород осадочного комплекса хорошо кор-

релируется с их глинистостью, то в песчано-глинистом разрезе по диаграммам метода естественного гамма-излучения можно выделять пласты с различным содержанием глинистого материала.

Конфигурация кривых гамма-излучения (I_γ) зарегистрированных радиометром по стволу скважины, искажается из-за наличия различных помех и с целью исключения их при интерпретации кривых ГК используют не абсолютные значения I_γ , а относительные (рис. 29).

Нейтронный каротаж

Существуют два распространенных скважинных метода, основанных на использовании нейтронов: нейтронный гамма-каротаж (НГК¹⁶⁰ или НГМ) и нейтрон-нейтронный каротаж (ННГК). В качестве источника нейтронов часто берут смесь радия и мелкого порошка бериллия. При бомбардировке бериллия α -частицами радия образуются нейтроны согласно реакции:



Число нейтронов, достигших детектора, будет меньше в случае присутствия большого количества водорода. Следовательно, уменьшение числа регистрируемых нейтронов указывает на присутствие водорода в породах и можно считать, что оно, в свою очередь, обусловлено нефтью, водой или газом.

Диаграммы нейтронного каротажа

Интерпретация диаграмм начинается с расчленения разреза и выделения пород с различным водородсодержанием. Поскольку при работе с зондами большой длины наблюдается обратная связь между интенсивностью тепловых нейтронов I_n с водородсодержанием, породы, имеющие в своем составе большое количество водорода, отмечаются низкими значениями на кривой нейтронного каротажа, а породы с малым водородсодержанием — высокими показателями (максимумами).

Области применения

Нейтронный гамма-метод применяют для литологического расчленения разреза, выделения пластов-коллекторов и определения их пористости, отбивки водонефтяного, газоводяного и газонефтяного контактов, а также для выявления элементов с высоким сечением захвата тепловых нейтронов.

¹⁶⁰ Единицы измерения усл. ед.

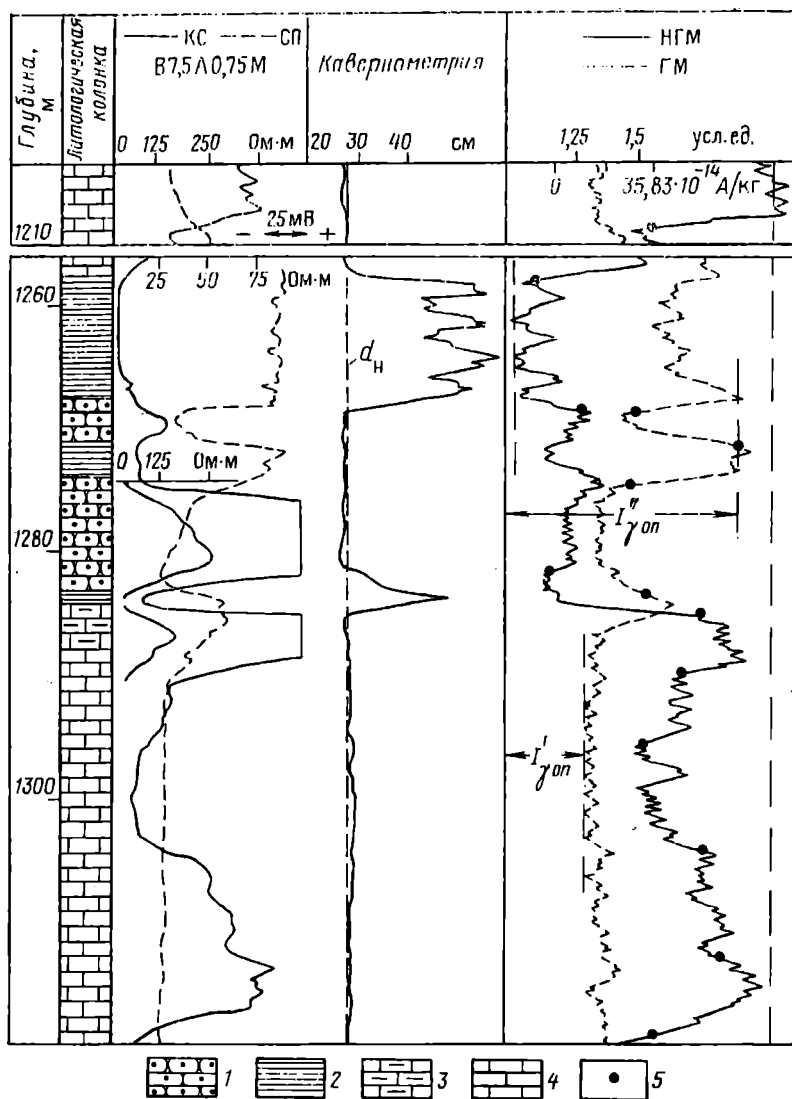


Рис. 29. Пример расчленения разреза по водосодержанию и глинистости пород, определения границ пластов и выбора опорных пластов по диаграммам ГМ и НГМ в комплексе с электрическими методами (по В. М. Дахнову).

Условные обозначения: 1 — песчаник нефтеносный; 2 — глина; 3 — известняк глинистый; 4 — известняк чистый; 5 — точки, соответствующие границам пластов на кривых ГМ и НГМ

Литологическое расчленение разреза по кривым нейтронного-каротажа основано на различии интенсивности радиационного захвата против пород с разным водородсодержанием.

Хорошие результаты даст комплексирование гамма и нейтронного каротажей на месторождениях каменных солей, которые на обеих кривых отмечаются максимальными значениями. Также совместное их использование позволяет в гидрогеологических скважинах выделить водоносные горизонты и оценивать их пористость. Большие возможности нейтронный метод имеет при изучении железных, хромитовых, марганцевых руд и скоплений ртути. Железо, марганец и ртуть характеризуются большим сечением захвата тепловых нейтронов, сопровождающегося жестким гамма-излучением.

8.10.3. Кавернометрия (KB^{161})

При бурении диаметр долота зависит от конструкции скважины. Если диаметр пробуренной части ствола соответствует диаметру долота или коронки, то его называют *номинальным* (d_H), что обычно бывает в плотных непроницаемых породах. Однако в разрезе различной литологии фактический диаметр скважины d_C не всегда является таковым и может быть больше или меньше диаметра долота.

Фактический диаметр скважины изменяется *каверномерами*. Кривая фактического измерения диаметра скважины в масштабе глубин называется *кавернограммой*.

Кавернометрия — это измерение диаметра скважины. Для слежения за меняющейся формой (диаметром) ствола скважины за рубежом применяют кавернокаротаж, основанный на принципе действия эхолота. Вращающийся вокруг своей собственной оси зонд испускает ультразвуковые импульсы, а отраженные волны регистрируются. У нас в стране прежде были широко распространены типы кавернометров, основанных на преобразовании механических перемещений мерных рычагов в электрические сигналы, которые передаются по линии связи на поверхность, а затем на регистрирующий прибор.

Увеличение диаметра ($d_C/d_H > 1$), т. е. образование каверн, характерно для глинистых пород и песков, уменьшение ($d_C/d_H < 1$) характерно для пород-коллекторов, в которые проникает фильтрат промывочной жидкости.

¹⁶¹ Единицы измерения см.

8.10.4. Сейсмометрия скважин

Для того чтобы правильно интерпретировать сейсмические разрезы в первую очередь необходимо точно определить среднюю скорость прохождения продольных и поперечных волн для каждого типа пород. Проблема достоверного определения скоростей напрямую связана с точностью глубинных построений и реальностью геологической интерпретации сейсмических данных.

Схема сейсмокаротажа проста — взрыв вблизи дневной поверхности возбуждает сейсмические волны, которые регистрируются с помощью сейсмоприемника, опущенного в скважину. По времени пробега волны от источника до сейсмоприемника после введения необходимых поправок можно вычислить среднюю скорость распространения волны через слои горных пород.

По записям сейсмических волн в скважинах можно определять местоположение геологических границ.

8.10.5. Акустический каротаж

Акустические методы исследования разрезов скважин основаны на определении упругих свойств горных пород по данным о распространении в них упругих волн. Акустический каротаж заключается в непрерывном измерении по стволу скважины скорости распространения продольных волн через горные породы. Поскольку путь пробега звуковых колебаний при акустическом каротаже постоянен, измерив время пробега звуковой волны от источника до приемника через горную породу, можно вычислить скорость.

8.10.6. Использование данных ГИС для расчленения и корреляции разрезов скважин

Каротажные методы изучения скважин дают относительно полные сведения о разрезе. Непрерывность записей различных показателей имеет важное преимущество перед отбором керна, который *никогда* не бывает полным. Поэтому если керн характеризует лишь отдельные интервалы пройденного разреза, то каротажные диаграммы показывают его строение в целом.

Каротажные методы изучения скважин в общем виде дают возможность судить лишь о порядке чередования в разрезе различных типов пород и о мощности отдельных пластов и пачек. Поэтому дальнейшее использование данных каротажа для целей стратиграфии аналогично литологическим методам расчленения и корреляции разрезов. Сопоставление по каротажу необходимо увязывать с данными по изучению

керна и что эти сопоставления будут тем достовернее, чем теснее такая увязка.

Каменный материал из скважин необходим и для правильной интерпретации самих каротажных диаграмм. Известно, что наиболее достоверные данные каротаж дает при бурении скважин в песчано-глинистых слабоуплотненных породах. При уплотнении горных пород их электрокаротажные характеристики (наиболее широко применяемые на практике для расчленения разрезов) становятся менее индивидуализированными. В малопористых цементированных породах отличия этих характеристик нивелируются еще больше, а в карбонатном разрезе геофизические методы исследования скважин позволяют уверенно выделять лишь глинистые разности.

В известной степени эта ограниченность отдельных методов каротажа преодолевается их комплексированием, но в общем случае необходимы дополнение и корректировка каротажных данных материалами керна, проб, полученных боковыми пробоотборниками, и шлама. Поэтому рекомендуется в пределах каждой изучаемой площади бурить скважину с достаточно полным отбором керна, а также отбирать его из ряда других скважин не только для суждения о коллекторских свойствах продуктивных пластов, но и для определения степени их выдержанности по комплексу литологических и палеонтологических данных. В этом случае каротаж скважин действительно позволяет составить исчерпывающее представление о геологическом строении изучаемого района (площади) и дает возможность установить все взаимоотношения пород в пределах изучаемой локальной структуры.

Важно помнить, что каротаж является формальной регистрацией определенных характеристик. Эти характеристики в пределах ограниченного района, для которого известен как сводный разрез, так и степень уплотненности пород, минерализация подземных вод и т. п., будут с большой долей вероятности связаны с определенными литологическими разностями. Но за пределами этого района, на практике отвечающего обычно локальной структуре, изменяются, по крайней мере, детали строения разреза, степень минерализации пластовых вод и поэтому детальные каротажные сопоставления, оправдывающие себя при корреляции близко расположенных скважин, оказываются малокорректными при региональных построениях. Поскольку, как правило, отдельные пласты и пакки не имеют индивидуальной каротажной характеристики, а выделяются на диаграммах лишь по контрасту с выше- и нижележащими отложениями, их далекое прослеживание неизбежно может проводиться лишь способом отсчета от какого-либо регионального репера. Естественно, при этом выклинивание какого-либо пласта будет приводить к ошибочным или во всяком случае к неоднозначным и, следовательно, недостоверным сопоставлениям (см. табл. 9).

**Характеристика литологических типов пород
по данным каротажа (сильно упрощено)**

Литологические типы пород	Значения				d
	ПС (мВ)	КС (Ом м)	ГК (мкр/ч)	НГК (усл. ед)	КВ (см)
Глины, аргиллиты и глинистые сланцы	Высокие (+)	Низкие	Высокие	Низкие	Увел.
Алеврито-песчаники	Низкие (-)	Широкий диапазон	Низкие	Высокие	Норм.
Грубообломочные породы	Разные	Высокие	Разные	Разные	Разные
Известняки, доломиты.	Разные	Высокие	Низкие	Высокие	Норм.
Гипсы	+/-	Высокие	Низкие	Низкие	Норм.
Ангидриты	+/-	Высокие	Низкие	Высокие	Норм.
Каменные соли	+/-	Высокие	Низкие	Высокие	Увел.
Калийные соли	+/-	Высокие	Высокие	Высокие	Увел.
Вулканогенные, метаморфические породы		Высокие		Повыш.	Норм.

8.11. Секвентная стратиграфия (sequence¹⁶² stratigraphy)

В конце 70-х гг. XX в. появилось новое научное направление, развиваемое на стыке традиционных геологических методов, получившее название секвентная стратиграфия.

Секвентная стратиграфия в основе своей представляет синтез основных стратиграфических методов:

1. Литологического метода (литостратиграфии), или выделения в разрезах и последующего прослеживания характерных слоев или определенных их группировок, когда изучаемый разрез делится определенным образом исходя из состава, окраски, текстуры, характера включений и т. п. на ряд слоев пачек или свит, отличающихся по этим признакам от выше- или нижележащих подразделений.

2. Циклостратиграфического метода, или расчленения и сопоставления осадочных толщ, основанного на использовании неоднократного чередования в разрезах сходных явлений и признаков.

3. Палеонтологического метода, или оценки последовательности и взаимоотношения осадочных толщ с помощью палеонтологических критериев, абстрагированных от самих этих толщ.

¹⁶² Последовательность, ряд, порядок (следования).

4. Сейсмостратиграфического метода — интерпретации данных сейсморазведки с целью определения вещественного состава пород, залегающих на глубине, расшифровки последовательности их напластования и геологического возраста.

5. Палеомагнитного метода — выделения в разрезе определенных реперных палеомагнитных горизонтов на основании изучения магнитного поля геологического прошлого.

Главным методом, на котором основана концепция секвентной стратиграфии, безусловно, является литологический метод. Основное отличие «секвентного» подхода корреляции от «чисто литологического» в следующем: при выделении секвенции используются реперные уровни или хроностратиграфически¹⁶³ значимые поверхности (границы)¹⁶⁴.

В основе секвенсстратиграфии лежит представление о периодическом изменении уровня моря в геологическом прошлом и ведущей роли эвстатики Мирового океана в этом процессе, хотя до сих пор нет единодушия по вопросу, возможно ли уверенно выделить эвстатический сигнал из реконструируемых кривых относительного изменения уровня моря различных седиментационных бассейнов прошлого.

Под эвстатикой понимается изменение уровня Мирового океана, вызванное изменением равновесия системы «общий объем океанических бассейнов — общий объем океанической воды».

В соответствии с концепцией секвенсстратиграфии осадочные последовательности состоят из системных трактов (латеральных седиментационных рядов) низкого стояния уровня моря (LST), трансгрессивных трактов (TST), окраины шельфа (SMST) и трактов высокого стояния уровня моря (HST).

Секвенсстратиграфия — изучение генетически связанных фаций, ограниченных хроностратиграфическими поверхностями. Секвенция является фундаментальной пластовой единицей секвенсстратиграфического анализа.

Секвенция как ограниченная несогласиями пластовая единица была предложена американским геологом Л. Слоссом [L. Sloss]. Он признан разработчиком концепции секвенции, ограниченной несогласиями, в качестве стратиграфического инструмента. Слосс выделил на Североамериканском континенте шесть пластовых комплексов, ограниченных региональными несогласиями в отложениях от позднего докембрия до голоцена и назвал эти пластовые комплексы «секвенциями», присвоив им местные американские названия, чтобы подчеркнуть их североамериканский характер.

¹⁶³ Буквально — независимо от используемого метода хронологической упорядоченности пород.

¹⁶⁴ В этом секвентный подход перекликается с принципом Н. А. Головкинского — И. Вальтера.

риканское происхождение. Однако идеи Слосса нашли незначительное применение в 50—60-х и начале 70-х гг. XX в. за исключением бывших студентов и близких знакомых.

Следующим главным этапом в развитии секвенсстратиграфии стала публикация специалистами компании Exxon П. Вейлом [P. R. Vail], Р. Митчумом [R. M. Mitchum], Дж. Сангри [J. B. Sangree] и С. Томпсоном [S. Thompson III] в трудах AAPG (American Association of Petroleum Geologists, Memoir 26) концепции сейсмической стратиграфии. В ряде статей эти авторы представили концепции эвстазии и пластовых комплексов, ограниченных несогласиями, являющихся результатом эвстатических колебаний уровня моря применительно к данным сейсморазведки. Митчум расширил концепцию секвенции, определяя ее как «стратиграфическую единицу, сложенную относительно согласной последовательностью генетически связанных пластов, ограниченных в кровле и подошве несогласиями или коррелируемыми с ними согласными поверхностями». Вейл модернизировал область использования секвенции Слосса двумя другими важными направлениями.

Во-первых, секвенция по Вейлу и Митчуму охватывает намного меньший интервал времени, чем секвенция Слосса. Первоначальные шесть платформенных секвенций были подразделены, в результате чего секвенции Слосса стали суперсеквенциями на цикл-диаграмме Exxon.

Во-вторых, Вейл с соавторами предложил эвстазию в качестве основного механизма развития секвенции.

В 80-е гг. прошлого века область применения сейсмической стратиграфии была расширена новыми моделями *аккомодации*, разработанными Дж. Джерви [Jervey] для интерпретации сейсмически разрешимых пластовых комплексов. Модели аккомодации¹⁶⁵ быстро привели к подразделению секвенций на более мелкие пластовые единицы, в итоге названных «*системными трактами*», или *латеральными фациальными (седиментационными) рядами*. В концептуальных трехмерных блок-диаграммах, разработанных Г. Позаментьером [Posamentier] и Вейлом, Дж. Баумом [Baum] и Вейлом в рамках *секвенций первого типа (T-1)* выделялись: системные тракты (латеральные фациальные ряды) подводных конусов выноса; низкого уровня стояния моря (LST); трансгрессии (TST); высокого уровня стояния моря (HST);

В рамках *секвенций второго типа (T-2)* выделялись: системные тракты окраины шельфа (SMST); трансгрессии (TST); высокого уровня стояния моря (HST).

Позднее системный тракт низкого уровня (LST) секвенций первого типа (T-1) был признан состоящим из «*конусов выноса дна бассейна, склоновых конусов выноса, проградирующих клиньев низкого уровня и отложе-*

¹⁶⁵ Аккомодация — это образование пространства для накопления осадков.

ний вложенных (врезанных) долин». Выделение секвенций двух типов (Т-1 и Т-2) основано на *типе несогласия, подстилающего секвенцию*.

Одновременно с развитием концептуальных моделей другие стратиграфы компании Еххон начали изучение обмеляющихся (регрессирующих) вверх по разрезу терригенных комплексов на основе данных каротажа, изучения керна и обнажений. Цель этого анализа состояла в использовании указанных комплексов для совершенствования временной и фациальной корреляции разрезов. Эти обмеляющиеся вверх по разрезу пластовые единицы ограничены хроностратиграфическими трансгрессивными поверхностями (морского затопления) и сложены прослойками, группами прослоек, слоями и группами слоев. Слои, ограниченные практически синхронными поверхностями напластования, использовались как естественные хроностратиграфические реперы при корреляции каротажных диаграмм. Дж. Вагонер [Wagoner] назвал эти комплексы «парасеквенциями».

Также были установлены группы взаимосвязанных парасеквенций в виде ретроградационных, проградационных и агградационных комплексов. Эти особые ассоциации парасеквенций были названы «группами (пачками) парасеквенций». Каждая группа парасеквенций приблизительно соответствует системному тракту. Признание парасеквенций и групп парасеквенций в качестве составных элементов системных трактов (латеральных фациальных рядов) и секвенций поместило их внутрь хроностратиграфической основы, в пределах которой стали предсказуемы их вид, составляющие типы напластования, и в значительной степени, условия осадконакопления. Это повысило возможность их использования при временной фациальной корреляции.

К 1983 г. область стратиграфических исследований компании Еххон расширилась от выделения парасеквенций до документации различных пластовых выражений терригенных секвенций и системных трактов (латеральных фациальных рядов) по данным каротажа скважин, изучения керна и обнажений. Интеграция результатов систематической документации терригенных секвенций, прогресс в изучении карбонатных фаций, успехи биостратиграфии в рамках концепции секвенции вкупе с методологией сейсмостратиграфии дали основу и методологию стратиграфического и фациального анализа, ныне известного как *секвенсстратиграфия*.

8.11.1. Секвенция как инструмент стратиграфического анализа

Применение секвенсстратиграфического анализа связано с определением иерархии пластовых единиц (слои, группы слоев, парасеквенции, группы парасеквенций и секвенции, ограниченные хроностратиграфическими поверхностями эрозии, перерывов в осадконакоплении или коррелируемыми с ними). Этот метод стратиграфического ана-

лиза отличается от использования трансгрессивных и регрессивных циклов (называющихся в литературе T-R единицами) пластов для региональной временной и фациальной корреляции.

Генетическая стратиграфическая секвенция основана на концепции, когда периоды осадконакопления ограничены «перерывами» или поверхностями затопления, сформированными при повышении уровня моря или смещении дельтовых лопастей (протоков).

Как анализ T-R циклов, так и почти идентичный анализ «генетических стратиграфических секвенций» опирается при региональной корреляции на «*трансгрессивную поверхность в кровле регрессивной пластовой единицы (пачки) или поверхность максимального затопления (дословно — *maximum flooding surface (mfs)*)*».

Вагонер с соавторами считают, что граница секвенции является лучшей поверхностью для регионального стратиграфического анализа, чем трансгрессивная поверхность, по следующим причинам:

1. Граница секвенции (sequence boundary (SB)) — это обособленная, широко распространенная поверхность, которая отделяет все отложения выше нее от всех отложений ниже этой границы. Хотя все точки на границе секвенции не представляют один и тот же промежуток времени, единичный момент времени является общим для всех точек. Эта синхронность относится ко всему бассейну и интерпретируется *глобальной* в пределах точности биостратиграфической датировки. По этим причинам граница секвенции имеет хроностратиграфическое значение.

2. Граница секвенции формируется независимо от поступления осадков. Граница секвенции, связанная со значительным эрозионным срезом, является результатом быстрого относительного падения уровня моря при быстром отложении большого объема осадков. Итогом быстрого относительного падения уровня моря при медленном поступлении небольших объемов осадка будет граница секвенции, отмеченная признаками широко распространенного *субазрального «обнажения»*, но незначительным эрозионным срезом. И, напротив, трансгрессии и регрессии жестко контролируются поступлением осадков и по этой причине не могут быть синхронны даже в пределах одного бассейна. Например, движения береговой линии зачастую обусловлены локальными различиями в поступлении осадка в различных частях бассейна, а не изменениями уровня моря, и поэтому обычно регионально диахронны.

3. В пределах секвенции имеются две главные поверхности: *поверхность затопления*, образующая верхнюю границу системного тракта низкого уровня (LST), и *поверхность максимального затопления (mfs)*, связанная с конденсированным разрезом. Обычно между этими главными поверхностями находятся несколько других трансгрессивных поверхностей, ограничивающих (разделяющих) парасеквенции в пределах трансгрессивного системного тракта (TST). Эти поверхности могут

быть перепутаны при региональной корреляции, особенно при использовании данных по удаленным точкам наблюдения. Возраст каждой трансгрессивной поверхности в пределах секвенции в различных точках бассейна может значительно отличаться в зависимости от региональных изменений в поступлении осадков.

4. Граница секвенции обычно отмечена значительной региональной эрозией (размывом) и *подошвенным налеганием*, которые сильно влияют на распределение фаций. Трансгрессивные поверхности же характеризуются очень слабым накоплением осадков или перерывом осадконакопления с относительно небольшим трансгрессивным размывом.

5. Системные тракты (латеральные фациальные ряды) наблюдаются в пределах секвенции и связаны с границами секвенции; каждый системный тракт связан с границей в определенной точке. Эти взаимосвязи не отмечены на трансгрессивных поверхностях.

6. Вкрест несогласной части границы секвенции первого типа (Т-1) имеется отчетливый перерыв в осадконакоплении и смещение фаций в сторону центральной части бассейна, что создает естественную поверхность, разделяющую относительно согласные *выше-* и *нижележащие* фациальные комплексы. Обычно этот перерыв находится в пределах средних и верхних частей регрессивных единиц. Если трансгрессивные поверхности, ограничивающие «генетическую стратиграфическую секвенцию», используются для стратиграфического расчленения осадочного чехла бассейна, а границы секвенции пропускаются, то в пределах основной единицы осадконакопления потенциально содержится *главное несогласие*, что затрудняет правильную интерпретацию латеральных фациальных взаимоотношений.

7. Признание *несогласной части границы секвенции* в качестве обособленной части в иерархии хроностратиграфических пластовых поверхностей и несогласий имеет большое значение в разработке хроностратиграфии и единовременности фаций. Поэтому использование только фациальных границ или подчинение «стратиграфии поверхностей» фациальным границам обычно искажает геологическое время и может привести к ошибочным заключениям об одновременности образования фаций.

8.11.2. Основные понятия

Секвенция — это относительно согласная, сингенетичная совокупность слоев (рис. 30, 31¹⁶⁶), ограниченных *несогласиями*¹⁶⁷ (*субазральными поверхностями*) или сопоставляемыми с ними согласиями¹⁶⁸. Границы секвенций формируются при уменьшении глубины водного бас-

¹⁶⁶ Существуют два вида несогласного перекрытия (*overlap*) — трансгрессивное (*налегание, onlap*) и регрессивное (*offlap*). Оба могут быть как морского,

ний вложенных (врезанных) долин». Выделение секвенций двух типов (Т-1 и Т-2) основано на *типе несогласия, подстилающего секвенцию*.

Одновременно с развитием концептуальных моделей другие стратиграфы компании Еххоп начали изучение обмеляющихся (регрессирующих) вверх по разрезу терригенных комплексов на основе данных каротажа, изучения керна и обнажений. Цель этого анализа состояла в использовании указанных комплексов для совершенствования временной и фациальной корреляции разрезов. Эти обмеляющиеся вверх по разрезу пластовые единицы ограничены хроностратиграфическими трансгрессивными поверхностями (морского затопления) и сложены прослойками, группами прослоек, слоями и группами слоев. Слои, ограниченные практически синхронными поверхностями напластования, использовались как естественные хроностратиграфические реперы при корреляции каротажных диаграмм. Дж. Вагонер [Wagoner] назвал эти комплексы «парасеквенциями».

Также были установлены группы взаимосвязанных парасеквенций в виде ретроградационных, проградационных и аградационных комплексов. Эти особые ассоциации парасеквенций были названы «группами (пачками) парасеквенций». Каждая группа парасеквенций приблизительно соответствует системному тракту. Признание парасеквенций и групп парасеквенций в качестве составных элементов системных трактов (латеральных фациальных рядов) и секвенций поместило их внутрь хроностратиграфической основы, в пределах которой стали предсказуемы их вид, составляющие типы напластования, и в значительной степени, условия осадконакопления. Это повысило возможность их использования при временной фациальной корреляции.

К 1983 г. область стратиграфических исследований компании Еххоп расширилась от выделения парасеквенций до документации различных пластовых выражений терригенных секвенций и системных трактов (латеральных фациальных рядов) по данным каротажа скважин, изучения керна и обнажений. Интеграция результатов систематической документации терригенных секвенций, прогресс в изучении карбонатных фаций, успехи биостратиграфии в рамках концепции секвенции вкупе с методологией сейсмостратиграфии дали основу и методологию стратиграфического и фациального анализа, ныне известного как *секвенсстратиграфия*.

8.11.1. Секвенция как инструмент стратиграфического анализа

Применение секвенсстратиграфического анализа связано с определением иерархии пластовых единиц (слои, группы слоев, парасеквенции, группы парасеквенций и секвенции, ограниченные хроностратиграфическими поверхностями эрозии, перерывов в осадконакоплении или коррелируемые с ними). Этот метод стратиграфического ана-

лиза отличается от использования трансгрессивных и регрессивных циклов (называющихся в литературе T-R единицами) пластов для региональной временной и фациальной корреляции.

Генетическая стратиграфическая секвенция основана на концепции, когда периоды осадконакопления ограничены «перерывами» или поверхностями затопления, сформированными при повышении уровня моря или смещении дельтовых лопастей (протоков).

Как анализ T-R циклов, так и почти идентичный анализ «генетических стратиграфических секвенций» опирается при региональной корреляции на «*трансгрессивную поверхность в кровле регрессивной пластовой единицы (пачки) или поверхность максимального затопления (дословно — *maximum flooding surface (mfs)*)*».

Вагонер с соавторами считают, что граница секвенции является лучшей поверхностью для регионального стратиграфического анализа, чем трансгрессивная поверхность, по следующим причинам:

1. Граница секвенции (*sequence boundary (SB)*) — это обособленная, широко распространенная поверхность, которая отделяет все отложения выше нее от всех отложений ниже этой границы. Хотя все точки на границе секвенции не представляют один и тот же промежуток времени, единичный момент времени является общим для всех точек. Эта синхронность относится ко всему бассейну и интерпретируется *глобальной* в пределах точности биостратиграфической датировки. По этим причинам граница секвенции имеет хроностратиграфическое значение.

2. Граница секвенции формируется независимо от поступления осадков. Граница секвенции, связанная со значительным эрозионным срезом, является результатом быстрого относительного падения уровня моря при быстром отложении большого объема осадков. Итогом быстрого относительного падения уровня моря при медленном поступлении небольших объемов осадка будет граница секвенции, отмеченная признаками широко распространенного *субазрального «обнажения»*, но незначительным эрозионным срезом. И, напротив, трансгрессии и регрессии жестко контролируются поступлением осадков и по этой причине не могут быть синхронны даже в пределах одного бассейна. Например, движения береговой линии зачастую обусловлены локальными различиями в поступлении осадка в различных частях бассейна, а не изменениями уровня моря, и поэтому обычно регионально диахронны.

3. В пределах секвенции имеются две главные поверхности: *поверхность затопления*, образующая верхнюю границу системного тракта низкого уровня (*LST*), и *поверхность максимального затопления (mfs)*, связанная с конденсированным разрезом. Обычно между этими главными поверхностями находятся несколько других трансгрессивных поверхностей, ограничивающих (разделяющих) парасеквенции в пределах трансгрессивного системного тракта (*TST*). Эти поверхности могут

быть перепутаны при региональной корреляции, особенно при использовании данных по удаленным точкам наблюдения. Возраст каждой трансгрессивной поверхности в пределах секвенции в различных точках бассейна может значительно отличаться в зависимости от региональных изменений в поступлении осадков.

4. Граница секвенции обычно отмечена значительной региональной эрозией (размывом) и *подошвенным налеганием*, которые сильно влияют на распределение фаций. Трансгрессивные поверхности же характеризуются очень слабым накоплением осадков или перерывом осадконакопления с относительно небольшим трансгрессивным размывом.

5. Системные тракты (латеральные фациальные ряды) наблюдаются в пределах секвенции и связаны с границами секвенции; каждый системный тракт связан с границей в определенной точке. Эти взаимосвязи не отмечены на трансгрессивных поверхностях.

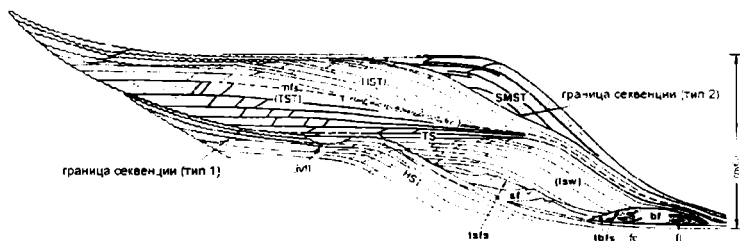
6. Вкрест несогласной части границы секвенции первого типа (Т-1) имеется отчетливый перерыв в осадконакоплении и смещение фаций в сторону центральной части бассейна, что создает естественную поверхность, разделяющую относительно согласные *выше-* и *нижележащие* фациальные комплексы. Обычно этот перерыв находится в пределах средних и верхних частей регрессивных единиц. Если трансгрессивные поверхности, ограничивающие «генетическую стратиграфическую секвенцию», используются для стратиграфического расчленения осадочного чехла бассейна, а границы секвенции пропускаются, то в пределах основной единицы осадконакопления потенциально содержится *главное несогласие*, что затрудняет правильную интерпретацию латеральных фациальных взаимоотношений.

7. Признание *несогласной части границы секвенции* в качестве обособленной части в иерархии хроностратиграфических пластовых поверхностей и несогласий имеет большое значение в разработке хроностратиграфии и одновременности фаций. Поэтому использование только фациальных границ или подчинение «стратиграфии поверхностей» фациальным границам обычно искажает геологическое время и может привести к ошибочным заключениям об одновременности образования фаций.

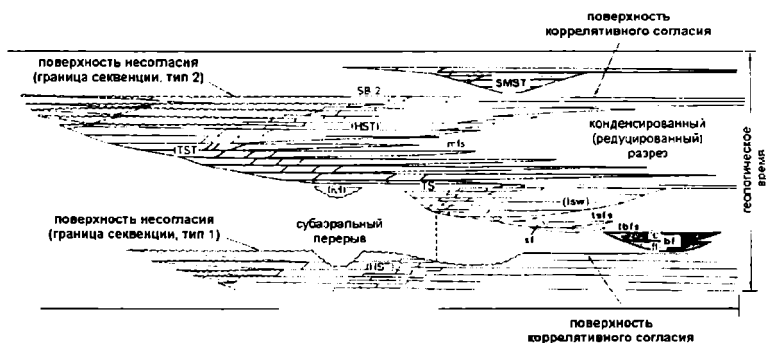
8.11.2. Основные понятия

Секвенция — это относительно согласная, сингенетичная совокупность слоев (рис. 30, 31¹⁶⁶), ограниченных *несогласиями*¹⁶⁷ (*субазральными поверхностями*) или сопоставляемыми с ними согласиями¹⁶⁸. Границы секвенций формируются при уменьшении глубины водного бас-

¹⁶⁶ Существуют два вида несогласного перекрытия (*overlap*) — трансгрессивное (*налегание, onlap*) и регрессивное (*offlap*). Оба могут быть как морского,



А) Геологический



В) Хроностратиграфический

Рис. 30. Схематические разрезы, иллюстрирующие секвенцию и слагающие ее компоненты (system tracts) (по П. Вейлу и др.)

так и неморского генезиса. Трансгрессивное перекрытие лучше всего наблюдается там, где море наступает на низменную с пологими берегами сушу. В вертикальном разрезе таких отложений размер частиц увеличивается с глубиной, глубоководные отложения сменяют мелководные. Морское регрессивное перекрытие наблюдается в том случае, когда море покидает сушу, т.е. когда уровень моря понижается. В вертикальном разрезе таких отложений размер частиц уменьшается с глубиной, мелководные отложения сменяют глубоководные. Прилегающие — downlap.

¹⁶⁷ Несогласие — поверхность, отделяющая более молодые отложения от более древних со значимым геологическим перерывом, вдоль которой имеются признаки субаэрального срезания или выхода пород на поверхность, а также в отдельных случаях подводного размыва.

¹⁶⁸ Согласие — поверхность напластования, отделяющая более молодые слои от более древних, вдоль которой нет признаков субаэральной или подводной эрозии и не установлено значимого перерыва.



Рис. 31. Схематическое изображение секвенции и различных видов соотношений сейсмических горизонтов в ее пределах (по П. Вейлу и др.)

сейна. Составными элементами секвенций являются парасеквенции и группы (пачки) парасеквенций.

Под секвенцией понимается объем отложений, накопленный за один цикл седиментации. Секвенция характеризуется достаточно строго определенной последовательностью вертикального и латерального соотношения слагающих ее компонентов, имеет строго определенные понятия границ и возможности их хроностратиграфического обоснования, отличается широким региональным распространением.

Латеральные седиментационные (фациальные) ряды (системные тракты) определяются как ассоциации разновозрастных фациальных комплексов. Они подразделяют секвенции на меньшие пластовые единицы. Выделяются четыре системных тракта:

- Нижнего уровня, или низкого стояния уровня моря (lowstand или LST)
- Окраины шельфа (shelf-margin или SMST)
- Трансгрессивный (transgressive или TST)
- Верхнего уровня, или высокого стояния уровня моря (highstand или HST).

Термины низкий и высокий носят чисто описательный характер и отражают только положение седиментационной системы в пределах секвенции.

Секвенция	Субазральная или сопоставимая с ней поверхность
Латеральные седиментационные ряды (системные тракты)	Трансгрессивная поверхность Главная трансгрессивная поверхность Субазральная или сопоставимая с ней поверхность
Группы (пачки) парасеквенций	Трансгрессивная поверхность Главная трансгрессивная поверхность
Парасеквенции	Трансгрессивная поверхность

Парасеквенция — это относительно согласная, сингенетичная совокупность слоев и пачек (групп слоев), ограниченная *трансгрессивными поверхностями* или сопоставляемыми с ними. Парасеквенции выполнены пачками (группами слоев), слоями, группами прослоек, и прослойками.

Трансгрессивная поверхность — поверхность отделяющая более молодые слои от более древних, вдоль которой имеются признаки резкого увеличения глубины водного бассейна.

Выделяют два типа границ секвенций:

1. Границы, сформированные тогда, когда скорость эвстатического падения уровня моря превышает скорость погружения на границе шельфа;
2. Границы, развивающиеся в условиях, когда скорость падения уровня моря равна или немного меньше скорости погружения.

В результате формируются *секвенции I и II типов*, сложенные определенными седиментационными системами (системными трактами).

Секвенции первого типа представлены системными трактами нижнего уровня (LST), трансгрессивным (TST) и верхнего уровня (HST).

Секвенции второго типа — вместо тракта нижнего уровня (LST) присутствует «погранично шельфовый» (SMST).

Парасеквенции. Большинство парасеквенций имеют проградационный характер, т. е. дистальные¹⁶⁹ части более молодых парасеквенций были сформированы в более удаленной от берега части бассейна.

В результате парасеквенции характеризуются вертикальной последовательностью фаций, отражающих обмеление бассейна. При этом выделяются два основных типа парасеквенций: «огрубляющиеся» и «утоняющиеся» вверх по разрезу. В обоих случаях они интерпретируются как обмеляющиеся последовательности. Наиболее изучены и хорошо выделяются парасеквенции в обстановках прибрежной равнины, дельты, пляжа и прибрежного шельфа.

Граница парасеквенций — это трансгрессивная или сопоставляемая с ней поверхность. Это граница обычно ровная, без существенных проявлений эрозии, резко отделяет глубоководные отложения, такие, как, например, шельфовые глины от более мелководных, песчаники припляжевой зоны. Вдоль ее поверхности могут отмечаться незначительная подводная эрозия (см—десятки см) и кратковременные перерывы.

Группа (пачка) парасеквенций — это совокупность сингенетических парасеквенций, образующих особую пачку пластов. Они ограничены главными трансгрессивными поверхностями или соответствующими им границами.

Границы парасеквенций и групп парасеквенций формируются при

¹⁶⁹ Дистальный, т. е. удаленный (внешний, нижний) от места происхождения край или конец геологического тела.

трансгрессиях. При определенных условиях осадконакопления границы парасеквенций и групп парасеквенций могут совпадать с границами секвенций.

Перечисленные пластовые единицы, в диапазоне от секвенции до прослойка, являются ячейками осадочного чехла, которые отвечают стратиграфической иерархии и обладают двумя основными свойствами:

— каждая пластовая единица, за исключением прослойка, является сингенетичной совокупностью слоев, ограниченных хроностратиграфическими поверхностями;

— каждая поверхность является отдельной физической границей, везде по своему простираению разделяющая пласты выше нее от всех пластов, залегающих ниже.

Интерпретация и механизм образования парасеквенций

Мелководноморские парасеквенции образуются, когда скорость седиментации в прибрежно-морских обстановках больше скорости аккомодации. Когда скорость осадконакопления меньше скорости аккомодации, формируется граница парасеквенции. Предполагается три основных механизма формирования границ парасеквенций.

1. Уплотнение дельтовых глинистых осадков.
2. Погружение вдоль активных разломов.
3. Эвстатические колебания уровня моря.

Пачка парасеквенций — это последовательность генетически связанных парасеквенций, характеризующихся определенным типом переслаивания и ограниченная главными трансгрессивными или сопоставляемыми с ними поверхностями.

Существует три основных типа пачек парасеквенций:

1. Проградационный (progradation¹⁷⁰ — наступление).
2. Ретроградационный (retrogradation¹⁷¹) — отступление.
3. Агградационный (aggradation¹⁷² — намыв). Т. е. каждая последующая парасеквенция остается на месте.

¹⁷⁰ Продвижение в сторону моря береговой линии в связи с наращиванием (пляжа, дельты или конуса выноса) в результате отложения вблизи берега осадков речного происхождения или при длительном накоплении пляжного материала, наносимого волнами или передвигаемого береговыми течениями. Антоним — ретроградация (retrogradation)

¹⁷¹ Отступление. Движение береговой линии в сторону суши, или отступление береговой линии в результате волновой эрозии; ретроградация вызывает увеличение крутизны профиля пляжа вдоль линии прибоя.

¹⁷² Надстройка земной поверхности за счет отложения осадочного материала, особая надстройка, осуществляемая рекой для того, чтобы установить или поддержать постоянный и однообразный наклон.

Нижний латеральный седиментационный ряд (LST) образуется в случае формирования в бассейне с шельфовой бровкой и в условиях, характерных для границ I типа. Он представлен:

- конусами выноса на дне бассейна;
- склоновыми конусами;
- прибрежным клином.

Конусы выноса на дне бассейна являются результатом эрозии в каньонах на склоне и врезания флювиальных¹⁷³ долин в шельфовые осадки. Именно каньоны питают конусы выноса у подножья склона.

Склоновые конусы представлены отложениями турбидных или обломочных потоков на склоне.

Прибрежный клин характеризуется формированием отложений вложенных долин и ассоциирующих прибрежных осадков. Они представлены проградационными и до аградационными пачками парасеквенций.

Во времени все эти седиментационные системы развиваются последовательно. Наиболее ранние образования — конуса у подножия (их подошва совпадает по времени с началом формирования нижнего латерального седиментационного ряда седиментационных систем), затем формируются склоновые конуса и, наконец, отложения вложенных долин, кровля которых совпадает с кровлей нижнего седиментационного ряда и подчеркивается первой трансгрессивной поверхностью.

В условиях формирования границ II типа нижний седиментационный ряд (LST) заменяется, так называемым гранично-шельфовым (SMST, или окраинно-шельфовым), характеризующимся развитием одной или нескольких слабо проградационных до аградационных пачек парасеквенций, отсутствием конуса выноса. Подошва совпадает с границей секвенции II типа, а кровля с I трансгрессивной поверхностью.

Трансгрессивный седиментационный ряд (TST) характеризуется развитием одной или более ретроградационных пачек парасеквенций. Основанием этого ряда служит первая трансгрессивная поверхность, а кровлей — так называемая поверхность прилегания или морская трансгрессивная поверхность, к которой *прилегают окончания проградирующей клиноформы*. Эта поверхность обычно обозначает смену ретроградационных пачек парасеквенций аградационными и называется главной трансгрессивной поверхностью.

¹⁷³ От слова *fluvius* (лат.) — река.

Конденсированные отложения¹⁷⁴ (condensed succession¹⁷⁵, condensed section), образовавшиеся в глубоководной части бассейна и состоящие из тонких прослоев пелагических¹⁷⁶ и хемипелагических осадков, отвечают как раз трансгрессивному (TST) и началу верхнего (HST) седиментационного рядов. Они имеют огромное хроностратиграфическое значение, т. к. обычно содержат богатый и разнообразный комплекс палеонтологических остатков. Но их формирование обычно отвечает достаточно длительному интервалу.

Верхний седиментационный ряд (HST) обычно развит в пределах шельфа и представлен одной и более аградационными пачками парасеквенций, перекрывающимися проградационными, имеющими форму клиноформ.

Диагностические признаки границ секвенций

1. Эрозионное срезание и латерально сопоставляемая с ней поверхность субэзальной переработки, характеризующаяся развитием почвенных горизонтов и поверхностью подводной эрозии.

2. Налегание перекрывающих слоев вложенной или прибрежной долины.

3. Смещение фаций в сторону моря.

4. Изменение характера строения пачек парасеквенций.

Последние два признака широко используются для диагностики этих границ по каротажу скважин, керну и на основании изучения естественных выходов горных пород. Например, при развитии следующей последовательности: проградационная (или аградационная) и вновь проградационная пачка — граница секвенций обычно проводится в кровле или подошве проградационной секвенции.

Выделяются два типа границ секвенций:

Первый тип формируется, когда скорость эвстатического падения уровня моря превышает скорость погружения на границе шельфа.

Второй тип развивается в условиях, когда скорость падения уровня моря равна или немного меньше скорости погружения.

¹⁷⁴ Применительно к российским понятиям, вероятно, правильнее будет называть не конденсированные, а редуцированные. Подробнее см. в разделе «Случаи, осложняющие применение палеонтологического метода в стратиграфии».

¹⁷⁵ Относительно маломощная, но непрерывная стратиграфическая последовательность отложений, характеризующаяся очень медленным накоплением осадков.

¹⁷⁶ От слова пелагический — толща вод океанов, морей, озер как среда обитания пелагических организмов.

8.11.3. Механизм формирования секвенций

Формирование секвенции, а также слагающих ее компонентов авторами гипотезы объясняется с позиций эвстатических изменений уровня моря во взаимосвязи с тектоническим погружением территории осадконакопления.

Формирование конуса выноса на морском дне происходит во время быстрого падения уровня моря.

Склоновые конусы формируются в конечную стадию падения уровня моря или в начальную стадию подъема.

Клин образуется также либо в конечную стадию падения уровня моря, либо в начальную стадию подъема.

Отложения трансгрессивного седиментационного ряда — во время быстрого подъема уровня моря.

Отложения верхней седиментационной системы — во время завершающей стадии эвстатического подъема уровня моря, относительно равновесного стояния и ранней стадии падения уровня моря.

Таким образом, подразделение осадочных толщ на секвенции, парасеквенции и латеральные седиментационные ряды обеспечивает методологическую основу для анализа и «породно-временных» соотношений. Секвенции и ограничивающие их поверхности подразделяют осадочную толщу на генетически связанные комплексы, разделенные хроностратиграфическими поверхностями. Границы парасеквенций, групп парасеквенций и секвенций, часто встречающиеся в терригенных разрезах, связаны со значительными перерывами в осадконакоплении и, в большинстве случаев, фации выше этих границ не имеют никаких физических и временных связей с нижележащими фациями. Эти поверхности создают хроностратиграфическую основу для корреляции и картирования отложений. Интерпретация латеральных седиментационных рядов кроме корреляционного значения играет важную роль при прогнозировании возможных фациальных переходов. Пачки парасеквенций и сами парасеквенции являются хорошей основой для более детальной корреляции отложений.

В этом разделе, а также и в предыдущих много раз упоминаются понятия, производные от слова «хроностратиграфия». Вот, что пишет по этому поводу С. В. Мейен: *«Шиндевольф [Schindewolf], прав, что термин «хроностратиграфия» есть чистый плеоназм (как старый старик или синяя синька). В литературе этот термин употребляется в разных смыслах с самого начала. Эта многосмысленность удерживается и поныне. Под хроностратиграфическими подразделениями подразумевают, с одной стороны подразделения, отложив-*

шиеся в течение определенного интервала единого планетного времени. С другой стороны, хроностратиграфическими называют подразделения МСШ, если речь идет именно об осадках, а не о самом интервале времени. Сами интервалы времени тогда выделяются в геохронологические единицы. Наконец, иногда хроностратиграфическими называют не только планетарные, но и местные подразделения...

... В смысле временного единства все стратоны являются хроностратиграфическими подразделениями. Поэтому сохранять понятия «хроностратиграфическая шкала» и «хроностратиграфическое подразделение» можно лишь в качестве эквивалентов соответственно МСШ и стратона МСШ».

8.11.4. Хроностратиграфические подразделения¹⁷⁷

Термин был предложен Д. Л. Степановым в 1954 г., в связи с отсутствием в советской геологической литературе обозначения для соответствующего понятия. В американской и западноевропейской геологической литературе эта категория стратиграфических подразделений обозначается термином *chronostratigraphic units*.

Главная особенность хроностратиграфических единиц заключается в том, что в основу их выделения и разграничения положены не какие-либо физические их свойства, а соответствие определенным подразделениям геологического времени. Таким образом, характерной чертой хроностратиграфических единиц является наличие у каждой из них своего эквивалента в геохронологической шкале (шкале времени). Следовательно, хроностратиграфические единицы представляют собой подразделения земной коры, которые охватывают все отложения, образовавшиеся в течение определенного промежутка времени. Будучи материальными единицами, представляющими толщи горных пород, хроностратиграфические подразделения различаются, однако, только на основе времени их образования, независимо от объективных физических свойств этих отложений.

Теоретически границами хроностратиграфических подразделений должны служить изохронные (одновозрастные) поверхности, не зави-

¹⁷⁷ Еще раз напомним — хроностратиграфические подразделения (*chronostratigraphic units*) — подразделения г. п., рассматриваемые в зарубежной литературе исключительно как свидетельства определенных интервалов геологического времени. Термин считается излишним, т. к. любое правильно выделенное стратиграфическое подразделение является одновозрастным и «хроностратиграфическим». Однако термин получил в настоящее время очень широкое распространение, поэтому возвращаемся к этим понятиям вновь.

сящие от литологического состава отложений и их палеонтологической характеристики. Однако в таком понимании границы, а следовательно, и сами хроностратиграфические единицы представляют собой в значительной мере лишь отвлеченное понятие — идеал, к которому на основе существующих методов геологической синхронизации можно лишь в той или иной мере приблизиться.

Из приведенного определения сущности хроностратиграфических подразделений следует, что хроностратиграфическая шкала неразрывно связана с параллельной ей геохронологической шкалой. Подразделениями этой шкалы являются геохронологические единицы, с которыми параллелизуются хроностратиграфические подразделения. Таким образом, геохронологическая единица охватывает время образования отложений соответствующего хроностратиграфического подразделения. Поскольку геологическое время не материально, геохронологические единицы, хотя и основаны на реально соответствующих стратиграфических подразделениях, не являются стратиграфическими подразделениями.

Поскольку основное назначение хроностратиграфических подразделений состоит в определении начала, конца и продолжительности геологических событий, они в совокупности должны составлять определенную шкалу со строгой градуировкой. Эта градуировка представляет собой фиксированное положение границ всех хроностратиграфических подразделений. В свою очередь фиксация границ хроностратиграфических подразделений в современном ее понимании осуществляется с помощью точки глобального стратотипа границы (ТГСГ) и зон (хронозон). Последние, несмотря на свой провинциальный или поясной характер, дают возможность путем различного рода приемов последовательно проследить достаточно изохронные поверхности в пределах смежных палеозоогеографических провинций, областей и поясов.

Вопросы к главе 8

1. Какие методы расчленения и корреляции являются прямыми?
2. Что такое биостратиграфические подразделения?
3. Что такое биостратиграфическая зона?
4. Что такое эпибола?
5. Какие группы фауны относятся к ортостратиграфическим?
6. Что такое рекуррентные фауны?
7. В чем суть литостратиграфического метода?
8. Какие существуют типы несогласий?
9. В чем разница между цикличностью и ритмичностью?
10. Какие существуют климатостратиграфические подразделения?

11. Что такое эвстатическое изменение уровня Мирового океана?
12. Что такое прямая полярность геомагнитного поля?
13. Что такое отражающая поверхность?
14. В чем основное преимущество каротажа перед отбором керна?
15. Какие основные задачи решаются с помощью каротажа?
16. В чем основное отличие секвенции от парасеквенции?

Глава 9. ГЕОХРОНОМЕТРИЯ

Все охарактеризованные ранее, а также еще не рассмотренные методы стратиграфических исследований (или методы относительной геохронологии) не способны дать реальное представление об абсолютном возрасте тех или иных осадочных, вулканогенных или интрузивных образований, не позволяют оценить продолжительность времени их формирования. Относительная геохронология дает возможность судить лишь о последовательности геологических событий (раньше — позже). Время их действия и продолжительность можно установить, только используя радиогеохронологические методы или, как их еще называют, методы определения абсолютного возраста.

Все методы стратиграфии так или иначе связаны с понятием времени. Однако в подавляющем большинстве этих методов определение времени образования или степени синхронности каких-либо толщ *относительно*, т. к. базируется на выяснении соотношения с подстилающими и перекрывающими слоями или на сопоставлениях с эталонными разрезами. Принципиально возможно и количественное определение возраста слоя, выраженное в годах (с учетом, разумеется, возможных изменений продолжительности года в геологической истории). Для этого необходимо лишь наличие какого-либо процесса, равномерно и непрерывно происходящего во времени, обладающего достаточной продолжительностью и оставляющего хорошо просматриваемые следы в геологических образованиях. Таким процессом явился для геологов радиоактивный распад. В 1905 г. Э. Резерфорд указал, что, судя по содержанию гелия и урана в кристалле, им проанализированном, возраст последнего составляет не менее 500 млн. лет (напомним, что в то время продолжительность геологической истории принималась не более чем 200 млн. лет). Вскоре американский исследователь Б. Болтвуд, используя отношения свинца и урана, установил возраст минералов из каменноугольных (340 млн. лет) и девонских (370 млн. лет) отложений, а также определил возраст ряда докембрийских пород различных континентов, который составил по его данным 1025–1640 млн. лет. Становление радиометрической хронометрии (радиологических методов) обычно связывается с именем выдающегося американского геолога Артура Холмса, который впервые стал систематически применять численные данные для определения возраста минералов и определения продолжительности стратиграфических подразделений.

В основе радиологической хронометрии лежит самопроизвольный распад неустойчивых изотопов ряда элементов. В результате количество атомов этих элементов в минералах сокращается и вместо них

появляются устойчивые изотопы дочерних элементов¹⁷⁸. 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 типа глауконита. Разумеется, метод корректен лишь при двух допущениях.

1. Следует полагать, что скорость радиоактивного распада оставалась неизменной в течение всей геологической истории. Действительно, экспериментальные данные (в частности, наблюдения за скоростью распада при температуре 7000 °С, давлении более 200 бар, в сильном магнитном поле и при бомбардировке космическими лучами показывают постоянство скорости распада).

Общефизические представления, в частности несопоставимость энергетических уровней ядерных реакций и обычных термодинамических процессов, также приводят к заключению об отсутствии внешних факторов, способных повлиять на скорость спонтанного ядерного распада. Петрографические материалы показывают, что радиусы ореолов одинаковы в породах любого возраста; это также является подтверждением постоянства скорости радиоактивного распада. Таким образом, современные данные позволяют с высокой степенью вероятности полагать, что в течение последних 10 млрд. лет скорость радиоактивного распада изотопов не менялась.

2. Все устойчивые изотопы свинца, стронция, аргона, азота 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.

Долгое время самой значительной трудностью определения возраста с помощью радиоактивного распада являлось относительное несовершенство аналитических методов. Однако в последние годы широкое внедрение масс-спектрометрии¹⁷⁹ не только значительно по-

¹⁷⁸ Основной закон радиоактивного распада — количество распавшихся атомов за единицу времени пропорционально первоначальному числу атомов: $N_0 = N_t e^{\lambda t}$, где N_0 — первоначальное число атомов; N_t — число атомов по истечении времени t ; λ — постоянная радиоактивного распада; e — основание натуральных логарифмов ($e = 2,71828182$).

¹⁷⁹ Масс-спектрометрия — вид физического анализа вещества, основанный на разделении пучка ионизированных частиц по массам в специальном анализаторе. Масс-спектрометрия дает возможность исследовать спектры масс, уточнять массовые числа атомов и обнаруживать новые изотопы, а также позволяет измерять относительные распространения изотопов в различных объектах. В

высило точность измерений, но и позволило перейти к массовым анализам.

Измерение возраста проводится по содержанию в породах и минералах материнских и дочерних продуктов радиоактивного распада. Возраст t устанавливается в единицах астрономического времени (обычно в миллионах лет) и вычисляется по формуле:

$$t = 1/\lambda \ln(N_0/N_t), \quad (1)$$

где t — абсолютный возраст в годах; N_0 — исходное количество материнских атомов; N_t — количество тех же атомов, сохранившихся за период времени t ; λ — константа распада, отвечающая для каждого изотопа числу атомов, претерпевающих распад за единицу времени.

Масс-спектрометрия позволяет сразу производить оценку соотношения материнских P и дочерних D изотопов, в связи с чем уравнение (1) может быть преобразовано к виду:

$$t = 1/\lambda \ln(1 - D/P). \quad (2)$$

Измерение констант распада является очень сложным процессом. Они постоянно уточняются, а для некоторых изотопов до сих пор принимаются условно.

Для более четкого представления о характере ядерного распада вводят понятие периода полураспада T , который равен тому промежутку времени, в течение которого любое первоначальное количество радиоактивного вещества уменьшается наполовину. Связь между константой λ и периодом полураспада T выражается следующим образом:

$$N = N_0/2^{t/T}; \quad 2 = e^{\lambda T}; \quad \ln 2 = \lambda T; \quad T = \ln 2/\lambda = 0.693/\lambda.$$

При измерении возраста минералов используются следующие естественные типы ядерных превращений: β -распад, электронный захват, α -распад и спонтанное осколочное деление тяжелых ядер.

Здесь же хотелось бы напомнить, что излучение радиоактивных веществ состоит из трех компонентов:

альфа-лучей (α -частиц¹⁸⁰);

бета-лучей (β -частиц¹⁸¹);

гамма-лучей (γ -лучи).

геологии масс-спектрометрия применяется как основной метод изотопных исследований во всех случаях аномальных отношений распространенностей изотопов элементов в горных породах, минералах, рудах и водах.

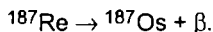
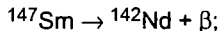
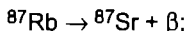
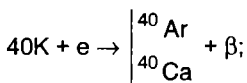
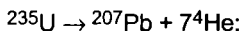
¹⁸⁰ α -частицы, несут заряд $2e$ — представляют собой ядра атомов гелия.

¹⁸¹ β -частицы несут отрицательный заряд e — представляют собой поток быстрых электронов.

Превращение атомов химических элементов при β -распаде определяется правилом сдвига: образующийся при распаде новый элемент занимает в таблице Д. И. Менделеева следующую клетку вправо от родоначального β -активного элемента. В-активность атомных ядер можно рассматривать как распад одного ядерного нейтрона на протон и электрон (плюс нейтрино).

Явление электронного захвата как бы противоположно β -распаду. Оно заключается в самопроизвольном поглощении орбитального электрона ядром атома.

Для определения возраста используются преимущественно следующие типы радиоактивного распада:



Эти типы распада положены в основу наиболее широко распространенных методов радиометрической хронометрии: калий-аргонового, калий-кальциевого, рубидий-стронциевого, свинцового (уран-торий-свинцового), самарий-ниодимового и рений-осмиевого.

Основными методами определения возраста древних геологических образований считаются свинцовый, рубидий-стронциевый и калий-аргоновый методы. Последний наиболее широко распространен.

Возраст молодых геологических образований (до 60 000 лет) определяется радиоуглеродным, радиово-иониевым и др. методами.

Далеко не во всех случаях радиохронометрические методы могут позволить определить достоверное время образования пород. Исходный результат этих сложнейших исследований почти всецело определяется характером анализируемой пробы — степенью сохранности в ней анализируемых элементов (Ar, Sr и т. п.), которая должна быть выявлена в процессе предварительного изучения. Только самые жесткие требования к подбору проб позволяют получать надежные результаты.

9.1. Калий-аргоновый¹⁸² (калий-кальциевый) метод

Используется для датировки 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 основе метода лежат превращения радиоактивного изотопа ^{40}K . 89 % атомов ^{40}K испускают β -частицу (электрон) и превращаются в ^{40}Ca , а 11 % атомов захватывают электрон и превращаются в ^{40}Ar .

Вычисление возраста в настоящее время производится по заранее составленным графикам и таблицам. В настоящее время Международной комиссией по геохронологии предложены следующие значения констант распада калия:

$$\lambda_{\beta} = 4.962 \cdot 10^{-10} \text{ лет}^{-1} \text{ (константа } \beta\text{-распада } ^{40}\text{K});$$

$$\lambda_e = 0.581 \cdot 10^{-10} \text{ лет}^{-1} \text{ (константа электронного захвата } ^{40}\text{K}).$$

В настоящее время возраст пород калий-аргоновым методом определяют только по мономинеральным фракциям; валовые пробы пород рассматриваемым методом не анализируют. При этом результат, полученный только по одному минералу, не может считаться достаточно надежным. Уверенно судить о возрасте геологических объектов можно лишь в том случае, когда радиологические датировки (в пределах точности анализа), полученные для двух-трех сосуществующих минералов, примерно совпадают. Радиологический возраст считается надежным при совпадении датировок, полученных по таким парам минералов, как биотит — калиевый полевой шпат, биотит — амфибол, амфибол — пироксен, амфибол — плагиоклаз.

Истинное время образования горных пород и минералов может быть определено лишь в том случае, если они на протяжении всего своего существования представляли собой замкнутые системы, исключаящие возможность дифференцированных потерь или обогащения. Различные наложенные процессы (прогрев, катаклаз¹⁸³, диафторез¹⁸⁴ и т. п.) обычно приводят к искажению возрастных значений, получаемых радиологическими методами, особенно калий-аргоновым.

¹⁸² Погрешность определения возраста, как показало систематическое изучение межлабораторных проб, составляет ± 4 %.

¹⁸³ Катаклаз — [κατακλάζω (катаклазо) — разрушаю] нарушение внутреннего строения и частичное раздробление г.п. при дислокационном метаморфизме.

¹⁸⁴ Диафторез — [греч. диафтора — разрушение], регрессивное минералогическое преобразование, происходящее в процессе приспособления магматических и метаморфических пород к новым условиям более низких ступеней метаморфизма.

Калий-кальциевый метод применяется не так широко из-за широкого распространения и рассеяния кальция в биосфере, состоящего на 96,97 % из изотопа ^{40}Ca . Это мешает выделению той части кальция в минерале, которая является радиогенной.

9.2. Рубидий-стронциевый метод¹⁸⁵

Основан на радиоактивном распаде изотопа рубидий-87 и превращении его в радиогенный изотоп стронция 87. Природный рубидий состоит из двух изотопов с массами 85 и 87 с относительным распространением соответственно 72,15 % и 27,85 %. Изотоп ^{85}Rb является стабильным. Стронций состоит из четырех стабильных изотопов (с распространенностью, %) — ^{84}Sr (0,56); ^{86}Sr (9,86); ^{87}Sr (7,02) и ^{88}Sr (82,56).

Рубидий-87 распадается очень медленно с периодом полураспада $4.88 \cdot 10^{10}$ лет, что соответствует константе $1.42 \cdot 10^{-11} \text{ лет}^{-1}$, которая применяется в настоящее время по рекомендации Международной комиссии по геохронологии. Изотопные соотношения, которые используются при масс-спектрометрических измерениях, таковы: $^{85}\text{Rb}/^{87}\text{Sr} = 2,59265$, $^{86}\text{Sr}/^{87}\text{Sr} = 0,1194$, $^{84}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,056584$.

В породе или минерале находится первичный стронций, который должен быть учтен при геохронологических исследованиях. Согласно радиоактивному распаду рубидия получается:

$$(^{87}\text{Sr})_0 = (^{87}\text{Sr})_p + ^{87}\text{Rb} (e^{\lambda t} - 1),$$

где ^{87}Rb — современное количество радиоактивного рубидия в минерале (породе), $(^{87}\text{Sr})_0$ — общее количество стронция, $(^{87}\text{Sr})_p$ — первичный стронций, находящийся в системе до накопления радиогенного стронция. Результаты анализов масс-спектрометрических измерений выражаются в изотопных отношениях:

$$[^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}]_0 = [^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}]_p + [^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}] (e^{\lambda t} - 1).$$

Вычисление возраста по этому уравнению основано на положении, что количество рубидия в разных частях пород или минеральных фракциях разное. Следовательно, в этих фракциях за геологическое время накапливаются разные количества радиогенного стронция. Но при этом отношение радиогенного стронция к радиогенному рубидию будет отражать геологический возраст. Полученные масс-спектрометрическим методом изотопные отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ и $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ в минеральных фракциях наносятся на график с соответствующими координатами. Точки ложатся на одну прямую линию, которая представляет собой изох-

¹⁸⁵ Погрешность анализа составляет ± 3 %.

рону. Изохрона образует угол α с осью абсцисс. Тангенс этого угла равен:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{{}^{87}\text{Sr}/{}^{86}\text{Sr}}{{}^{87}\text{Rb}/{}^{87}\text{Sr}} = \frac{{}^{87}\text{Sr}}{{}^{87}\text{Rb}}$$

и представляет собой отношение, по которому легко вычислить возраст (рис. 32).

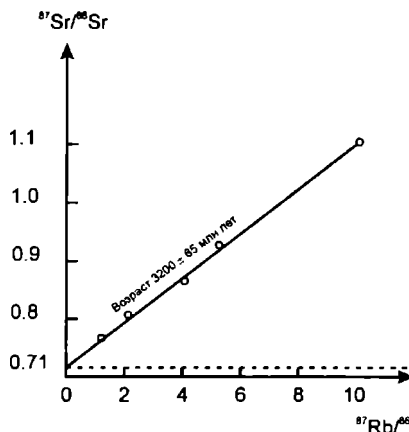


Рис. 32. Изохрона возраста пород, построенная согласно отношениям ${}^{87}\text{Sr}/{}^{86}\text{Sr}$ и ${}^{87}\text{Rb}/{}^{86}\text{Sr}$ гранита (Справочник по геохимии)

Методом изохрон легко вычислить возраст, если в образце отсутствует миграция рубидия и стронция, что имеет место в ряде случаев¹⁸⁶. Метод изохрон позволяет одновременно выяснить пригодность материала для определения возраста рубидий-стронциевым методом.

Применяется для определения возраста пород и минералов, содержащих рубидий (амазонит, лепидолит, биотит, мусковит, микроклин), для датировки возраста докембрийских пород — преимущественно гранитоидов и их минеральных фракций.

9.3. Уран-торий-свинцовый метод¹⁸⁷

Свинцовый метод геохронологии основан на радиоактивном распаде изотопов урана и тория.

Применяется преимущественно для докембрийских пород в двух

¹⁸⁶ На графике это отразится в рассеянии точек, что устраняет возможность построения изохроны.

¹⁸⁷ Иногда метод называют просто «свинцовый».

вариантах. Свинцово-изотопным методом¹⁸⁸ анализируются радиоактивные и акцессорные минералы, содержащие уран и торий (уранинит, настуран, монацит, циркон, ортит, колумбит, ксенотим и др.).

Возраст урано-ториевых минералов может быть вычислен по четырем изотопным отношениям:

$$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}, \quad ^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}, \quad ^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}, \quad ^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}.$$

Для вычисления возраста в настоящее время используют следующие постоянные распада:

Изотопы	²³⁸ U	²³⁵ U	²³² Th
λ, лет ⁻¹	1,55125·10 ⁻¹⁰	9,8435·10 ⁻¹⁰	4,9475·10 ⁻¹¹
T, лет	4,51·10 ⁹	7,07·10 ⁸	1,41·10 ¹⁰

Опыт применения свинцового метода показал, что получаемые возрастные значения по разным изотопным отношениям имеют разную сходимость. Достоверность получаемых величин возраста проверяется тем, что возрастные значения по разным изотопным отношениям совпадают. Небольшими расхождениями в пределах 2—5 % можно пренебречь, учитывая, что они вполне допустимы при степени сохранности минералов. При получении возрастных значений по разным изотопным соотношениям мы встречаем два случая — согласованность возрастных значений или их расхождение. Таким образом, свинцово-изотопный метод является самоконтролирующим. В большинстве случаев свинцово-изотопные данные дают расходящиеся (дискордантные) значения возраста, что связано с миграцией радиоактивных изотопов и продуктов их распада за время существования минерала.

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

Для радиоактивных минералов отмечается два типа возрастных аномалий:

$$t\left(\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}\right) < t\left(\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}\right) < t\left(\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}\right),$$

$$t\left(\frac{^{206}\text{Pb}}{^{238}\text{U}}\right) > t\left(\frac{^{207}\text{Pb}}{^{235}\text{U}}\right) > t\left(\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}\right).$$

Первый тип аномалии определяется потерей радиогенного свинца, что характерно для циркона и уранинита. Второй тип более свой-

¹⁸⁸ Погрешность анализа ±5 %.

ственен фосфатам — монациту и ксенотиму. Во всех аномалиях для древних (докембрийских) образцов наиболее достоверной величиной будет возраст по отношению $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, а для фанерозойских объектов (урановых минералов) по $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ и (ториевых минералов) $^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$.

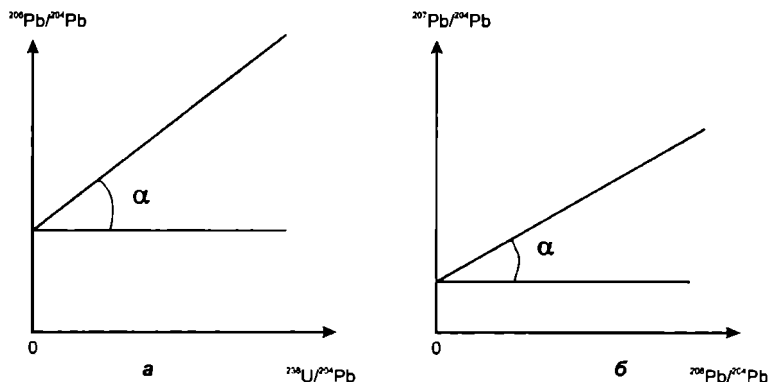


Рис. 33. Уран-свинцовая (а) и свинец-свинцовая (б) изохроны
(Справочник по геохимии)

Свинцово-изохронный метод¹⁸⁹ используется при датировании породы в целом (различные метаморфические гнейсы и кристаллические сланцы, мраморы, известняки, железистые кварциты) (рис. 33).

Тангенс угла наклона изохроны α характеризует возраст исследуемой группы образцов по одному из изотопных соотношений в зависимости от выбранной системы координат, а отрезок, отсекаемый изохроной на оси ординат, соответствует соотношению отдельных изотопов в первичном обыкновенном свинце, захваченном образцами.

9.4. Вычисление возраста по изотопному составу обычного свинца

Возраст, вычисляемый по изотопному составу обычного свинца, называют модельным. Это связано с тем, что в качестве основы для расчета выбирают определенную геохимическую модель той системы, в которой происходило радиогенное накопление свинца. Способ построения различных моделей представлен в работах Е. И. Гамильтона, Б. М. Найденова, В. В. Чердынцева и др. Природный свинец состоит из четырех стабильных изотопов ^{204}Pb , ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb , из которых ^{204}Pb не связан с радиоактивным распадом. Его содержание принимается за

¹⁸⁹ Погрешность анализа $\pm 5\%$.

единицу, и количество других изотопов свинца выражается по отношению к нему. В настоящее время предложен ряд моделей для расчета геологического возраста по изотопному составу свинца, имеющих определенную долю вероятности.

Модель Холмса—Гаутерманса предполагает, что любой свинец образовался как радиогенная добавка к первичному свинцу, который по своему изотопному составу равен свинцу железных метеоритов — наименее радиоактивных тел Солнечной системы.

Модель Рассела—Фаркуара—Камминга основана на предположении, что в недрах Земли, которые являются источником рудного свинца, соотношения Pb/U/Th хорошо перемешаны, образуя некоторый однородный источник, в котором указанные элементы изменяют в течение геологического времени свои количества только в результате радиоактивного распада.

В модели Э. Канасевича, Б. Дое и Дж. Стейси использован тот же принцип, что и в предыдущей модели, но с несколько иными параметрами.

9.5. Радиоуглеродный метод¹⁹⁰

Радиоуглеродный метод основан на реакции ^{14}N с нейтроном в верхних слоях атмосферы под воздействием космического излучения и превращением его в ^{14}C с периодом полураспада 5750 лет.

Используется для датирования пород позднего плейстоцена — голоцена. Массовое радиоуглеродное датирование применимо для образцов возрастом от 1 до 50—60 000 лет. Образцы моложе 1 000 лет не анализируются из-за большой погрешности в определении. Максимальный возраст — 70 000 лет — требует высокой технической сложности анализа и специального (крайне дорогого) обогащения пробы радиоуглеродом.

Объекты для радиоуглеродного датирования многочисленны. Это разнообразные углеродсодержащие материалы: древесный уголь, древесина, торф, гумус, кости, раковины моллюсков, сталактиты и т. п.

Радиоуглеродные даты могут быть омоложены или удревлены вследствие различных наложенных процессов (например, гниение). Поэтому следует особенно тщательно отбирать (и упаковывать¹⁹¹) материал для анализа.

9.6. Самарий-неодимовый метод

Метод разработан сравнительно недавно Д. де Паоло и Г. Вассербуром в США. Он основан на α -распаде ^{147}Sm и превращении его в

¹⁹⁰ Погрешность анализа $\pm 5\%$.

¹⁹¹ Запрещается использовать для упаковки вату, опилки, стружку.

^{143}Nd . Радиоактивного изотопа ^{147}Sm в природном самарии 14.97 %, ^{143}Nd в естественном неодиме 12.7 %. Оба элемента относятся к группе редкоземельных (лантанидов) и имеют почти одинаковые свойства и встречаются совместно в одних и тех же минералах. Возраст минеральных образований, содержащих самарий, вычисляется по уравнению:

$$\left[\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} \right] = \left[\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} \right]_p + \frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}} (e^{\lambda t} - 1),$$

где $\left[\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} \right]$ — измеренное отношение изотопов неодима в исследуемой пробе; $\left[\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}} \right]_p$ — первичный изотопный состав неодима в момент образования минерала;

$\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}}$ — отношение, измеренное в пробе; t — возраст минерала или породы. В дальнейшем полученные данные обрабатываются методом построения изохрон. Изохрона строится по полученным точкам, и ее наклон к оси абсцисс соответствует определенному возрасту, а точка пересечения с осью ординат (на которой отложены отношения $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$) соответствует первичному отношению изотопов $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$.

Постоянная распада λ самария-147 равна $6.537 \cdot 10^{-10}$ лет $^{-1}$, что соответствует периоду полураспада $T = 1.06 \cdot 10^{11}$ лет. Такая медленная скорость распада приводит к очень малому накоплению радиогенного изотопа ^{143}Nd , что требует исключительно чувствительных и точных аналитических определений.

Самарий-неодимовый метод имеет преимущество перед другими методами. Оно состоит в том, что родоначальный и радиогенный изотопы по своим геохимическим свойствам чрезвычайно близки, и их миграция практически происходит в одинаковой степени, не нарушая радиоактивного равновесия в самой минеральной системе.

9.7. Рений-осмиевый метод

Метод основан на радиоактивном распаде рения ^{187}Re и превращении его в изотоп осмия ^{187}Os . Рений относится к довольно редким и рассеянным элементам земной коры. Значительные его концентрации довольно редки — максимальная (2—3 %) обнаружена в минералах молибденита. Молибдениты встречаются в кварцевых рудных жилах и от-

дельных пегматитах, в которых первичный осмий практически отсутствует. Таким образом, в молибденитах накапливается только радиогенный осмий. Возраст молибденитов вычисляется по отношению $^{187}\text{Os}/^{187}\text{Re}$ с использованием формулы

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \left(\frac{^{187}\text{Os}}{^{187}\text{Re}} + 1 \right).$$

Рений-осмиевый метод применяется довольно редко. Это связано с тем, что скорость распада рения низкая и константа (λ) определена с небольшой точностью.

9.8. Геохронологическая (геохронометрическая) шкала

Для отнесения геологических объектов по радиологическим данным к конкретному отрезку времени используется геохронологическая шкала — совокупность геохронологических эквивалентов общих стратиграфических подразделений.

В основу геохронологической шкалы положены так называемые реперные (опорные) точки — породы и минералы, имеющие строго определенное стратиграфическое положение, для которых надежно установлены значения радиологического возраста. Таких точек пока не много, т. к. радиологические методы применимы для датировки лишь некоторых типов осадочных пород, содержащих остатки фауны и флоры (это преимущественно глауконитсодержащие и вулканогенные породы). Существует несколько вариантов геохронологических шкал, предложенных разными авторами.

Таким образом, несмотря на большое количество осложняющих факторов (потеря дочерних изотопов, искусственное обогащение, искажения, обусловленные выветриванием минералов и т. п.), измерения, проведенные по всему земному шару, позволили составить достаточно согласуемые представления о продолжительности постаршей истории Земли, для фанерозоя — о продолжительности эратем и периодов, а в последнее время — эпох и даже веков.

Продолжительность периодов фанерозоя по разным авторам имеет порой существенные расхождения, но в последнее время отмечается хорошо согласуемые данные у большинства авторов геохронометрических шкал, и их уточнение еще долгое время будет предметом самых тщательных исследований.

Радиологическое изучение минералов и горных пород открыло новые широчайшие перспективы перед геологами. Прежде всего, была определена продолжительность эратем, периодов, эпох геохронологической шкалы и, таким образом, суждения о длительности различных

геологических и биологических процессов были поставлены на достаточно определенную количественную основу.

Достижения радиологической хронометрии побудили целый ряд геологов высказать мнение о грядущем примате радиологических методов над всеми другими методами стратиграфии.

Однако суть всех без исключения методов стратиграфии сводится к выделению в разрезах определенных интервалов, которые затем прослеживаются на более или менее ограниченное расстояние. Иными словами, в основе всех стратиграфических методов лежит периодизация истории Земли. Поскольку основанием для этой периодизации служат реально наблюдаемые изменения вещественного состава пород, их физических и химических характеристик или заключенных в них органических остатков, расчленение и сопоставление разрезов на такой основе определенным образом связано с историей развития Земли и отдельных ее участков. Радиологические данные не могут быть употреблены для подобных целей. Они всегда используются для подтверждения уже принятой периодизации.

Радиологическая хронометрия придает *размерность* стратиграфическим единицам. В этом заключается ее главное значение, которое, без сомнения, будет все более и более возрастать по мере усовершенствования метода и увеличения точности геологической привязки анализируемых образцов.

Вопросы к главе 9

1. Что такое период полураспада?
2. Какой метод применяется для определения возраста самых молодых геологических образований?

Глава 10. СТРУКТУРА И ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ СТРАТИГРАФИИ

Современная стратиграфия рассматривается как единая, хотя и дифференцированная самостоятельная дисциплина, подразделяемая на два главных раздела: общую стратиграфию и частную, или региональную. Задачей общей стратиграфии является разработка методологических и теоретических основ этой науки, ее принципов и методов исследования, а также усовершенствование общей стратиграфической и геохронологической шкал.

Частная, или региональная, стратиграфия имеет своей задачей разработку региональных и местных стратиграфических схем как основы для проведения крупномасштабной геологической съемки и поисковых работ.

В разделе общей стратиграфии в свою очередь заслуживает выделения в качестве особой категории (подраздела) теоретическая стратиграфия. Предметом ее должны считаться экспликация¹⁹² и уточнение таких основополагающих понятий, как геологическое тело, стратиграфическое подразделение (стратон), шкала, граница, реальность, естественность, конкретность, одновременность и т. п. К теоретической стратиграфии принадлежит и установление фундаментальных принципов стратиграфии, а также задача создания логико-математических ее основ. Наконец, перед стратиграфической теорией возникает и проблема разработки методологических и логико-гносеологических оснований этой теории. Этим вопросам посвящено множество работ как в советской (а ныне российской), так и в зарубежной литературе.

Другой частью общей стратиграфии, иногда именуемой практической, является разработка методических вопросов применительно к практике региональной стратиграфии.

10.1. Две главные концепции современной стратиграфии

При всем разнообразии отдельных исследований понимания цели, задач и предмета стратиграфии, а следовательно, ее объема, структуры и методов в этой области четко наметились две главные концепции.

Согласно одной из них конечной целью стратиграфии является установление времени образования слоев земной коры и разработка планетарной схемы геоисторической периодизации. Соответственно, сторонники этой концепции видят главную задачу стратиграфии в хроно-

¹⁹² Лат. Explicatio — истолкование, объяснение.

логической классификации отложений, преимущественно на основе палеонтологического метода. В то же время большинство сторонников рассматриваемой «временной» концепции признает необходимым использование в стратиграфии и всех других существующих методов, т. к. только комплексный подход обеспечивает получение полноценных стратиграфических данных. Тем самым принимается единство стратиграфии, синтезирующей результаты, полученные различными методами. Поэтому такие термины, как «литостратиграфия», «биостратиграфия», «магнитостратиграфия» и т. п., должны рассматриваться не как наименования самостоятельных дисциплин — «особых стратиграфий», а лишь как обозначения соответствующих методов и направлений стратиграфических исследований.

Временная, или геохронологическая (по Г. П. Леонову), концепция берет свое начало в идеях классиков геологии, закрепленных в решениях II—VIII сессий МГК, что дает основание для обозначения ее как «классической» концепции стратиграфии. Иногда ее еще называют европейской.

С позиции этой концепции написана книга Д. Л. Степанова и М. С. Меженикова «Общая стратиграфия (Принципы и методы стратиграфических исследований)», во многом послужившая основой при подготовке данного учебного пособия, и в частности при подготовке данного раздела.

Вторая главная концепция стратиграфии, развивающаяся параллельно, имеет в основе примат интересов геологического картирования среди других аспектов цели и задач стратиграфических исследований. Характерной чертой этой концепции является расширение предмета стратиграфии, превращающее последнюю в отрасль геологии, охватывающую все вопросы изучения слоистых прежде всего осадочных, горных пород. Таким образом, в сферу стратиграфии включаются литология, петрография осадочных пород и седиментология.

Характерным для рассматриваемой концепции, которую часто называют американской, является помимо расширенного понимания предмета стратиграфии признание самостоятельности, равноценности и независимости друг от друга различных категорий стратиграфических подразделений: литостратиграфических, биостратиграфических и хроностратиграфических. Наряду с ними допускается возможность создания и других столь же независимых категорий стратиграфических шкал на основе минералогических, экологических, палеомагнитных и других признаков. В крайнем своем выражении эти представления приводят к отрицанию единства стратиграфии и допущению множественности независимых стратиграфий — «литостратиграфии», «биостратиграфии», «экостратиграфии», «магнитостратиграфии» и т. п.

То обстоятельство, что американская концепция во главу угла ста-

вит использование стратиграфии для потребностей геологического картирования, имеет следствием особое внимание, уделяемое ее приверженцами реальным геологическим телам и их вещественному составу. Отсюда проистекает признание в качестве ведущего метода стратиграфических исследований литологического и тенденция к включению в сферу стратиграфии таких дисциплин, как петрография осадочных пород, седиментология и фациология¹⁹³. Временной, или геохронологический, аспект стратиграфии при этом отходит на второй план. Соответственно, палеонтологический метод (биостратиграфия) получает значение второстепенного, как не обеспечивающий «естественных» границ картируемых геологических тел.

В настоящее время, несмотря на кажущуюся принципиальную разницу этих концепций, общей тенденцией развития современной стратиграфии является как раз их постепенное сближение, обусловленное взаимопроникновением ряда положений, первоначально свойственных лишь какой-то одной из них.

10.2. Практическое значение стратиграфии

Начиная с 30-х гг. XIX века, в наиболее развитых странах мира стали создаваться специальные геологические учреждения, которые содержались на государственные средства. Такие учреждения были созданы в Англии (1832 г.), Канаде (1848 г.), Франции (1855 г.), Швеции (1858 г.), Японии и США (1879 г.). Наконец в 1882 году в Петербурге был учрежден Геологический Комитет, положивший начало государственной геологической службе в России.

Российский «Геолком» уже в апреле 1883 г. утвердил проект «Общего плана геологического исследования России», положив в его основу 10-ти верстную геологическую съемку.

Для составления 10-ти верстной геологической карты Европейской России всю территорию разбили на 10 областей: Балтийскую, Днепропетровскую, область Западной границы, Волго-Донскую, Прикаспийскую, Уральскую, Крымско-Кавказскую, Северную и Финляндию. На каждую из этих областей приходилось несколько листов.

С учетом геологической изученности (ибо игнорировать накопленный опыт предшественников не имело смысла) Европейскую часть разделили на три категории. Материалы для этого подготовил А. П. Карпинский. 29 января 1883 г. он докладывает Присутствию Геолкома свои соображения «по составлению и изданию геологических карт», где продумано все до мелочей — и номенклатура листов, и тексты, и шрифты, и условные обозначения... и «раскраска карт».

¹⁹³ Список можно продолжить, добавив ГИС и сейсморазведку — (Л. С).

Следует отметить, что цветовая гамма, предложенная А. П. Карпинским для раскраски карт, практически осталась неизменной до настоящего времени.

Эту же раскраску приняла как обязательную для всех стран и II сессия МГК. Интересно, что раскраска систем мезозоя и кайнозоя была утверждена по А. П. Карпинскому, а для систем палеозоя была приняты цвета, предложенные швейцарским геологом А. Геймом. Также почти неизменной осталась до наших дней и раскраска на геологических картах изверженных пород, тоже предложенная А. П. Карпинским.

Главной работой Геолкома в первое десятилетие (1882—1892 гг.), разумеется, была геологическая карта Европейской России. В процессе ее создания геологи получили богатейший материал по тектонике, стратиграфии, палеонтологии изученных регионов, что дало им возможность параллельно с составлением отдельных листов карты написать обширные литолого-стратиграфические и палеонтологические монографии по различным группам фаун.

В 50-х гг. нашего столетия началась планомерная среднемасштабная геологическая съемка (Масштаб 1:200 000) территории СССР, благодаря которой получило широкое распространение создание местных стратиграфических схем.

А в 1982 г. Министерство геологии СССР перешло к качественно новому этапу изучения геологического строения и полезных ископаемых — к планомерным, систематическим крупномасштабным геологическим съемкам, к составлению и изданию Государственной геологической карты масштаба 1:50 000.

10.3. Стратиграфическая основа

Геологические работы и прежде всего съемка преследуют расчленение участков земной коры на определенные геологические тела различного состава и строения, прослеживание их в пространстве и выяснение их взаимоотношений как в пространстве, так и во времени. К исследованиям, задачей которых является выделение геологических тел различного содержания, относится выработка стратиграфической, петрографической, геофизической и геохимической основ.

Стратиграфической основой для проведения геологических работ на какой-либо площади (участке) служит стратиграфическая схема, построенная с учетом опорного разреза и скоррелированных с ним типовых разрезов, отражающих изменения объемов и соотношений, выделенных стратонів или их стабільність на данній площаді. Завершает разработку стратиграфической основы при геологическом картировании легенда к карте, охватывающая стратифицированные картируемые тела.

Стратиграфическая основа — это тот фундамент, на который опираются геологическая съемка, тектонические и палеогеографические построения, выводы о возрасте и нередко о формах проявления магматической деятельности, о возрасте и особенностях сингенетических и в какой-то мере постседиментационных месторождениях полезных ископаемых. Создание стратиграфической основы означает проведение таких работ, которые обеспечили бы достаточно детальное (в масштабе съемки) достоверное расчленение стратиграфического разреза и корреляцию выделенных стратонов на всей площади работ. Главное в приведенном определении — это, во-первых, соответствие стратиграфической основы масштабу геологических работ и, во-вторых, ее достоверность, что иногда называют надежностью. Основная задача расчленения стратиграфического разреза — выделение местных и вспомогательных стратиграфических подразделений, прослеживаемых на всей или на значительной площади района работ и имеющих мощность, которая отвечает масштабу карты.

Подготовка стратиграфической основы состоит из:

- комплексного изучения (или доизучения) опорного стратиграфического разреза;
- изучения в пределах картируемой территории наиболее характерных, типовых, разрезов местных стратиграфических подразделений;
- выявления корреляционных критериев и выделения маркирующих горизонтов;
- установления особенностей расчленения и корреляции толщ, содержащих сингенетические полезные ископаемые;
- составления местной стратиграфической схемы для картируемой площади;
- составления легенды к картам.

Работы по созданию стратиграфической основы должны обеспечиваться комплексными литолого-стратиграфическими и палеонтологическими исследованиями, цель которых заключается не только в расчленении и корреляции разрезов, но и в восстановлении палеогеографии, условий накопления полезных ископаемых и т. д.

Общим условием создания стратиграфической основы для крупномасштабных геологических съемок являются изучение возможно более полного опорного стратиграфического разреза для картируемой территории, расчленение его с необходимой степенью детальности, соответствующей масштабу съемки или превышающей ее. Для повышения эффективности и экономичности съемочных работ очень важны правильное геологическое районирование территории, правильный выбор площади серии листов, чтобы один полный разрез характеризовал всю территорию серии. В сложнопостроенных районах полный разрез может составляться из ряда разобщенных по площади разрезов. Опор-

ный разрез должен изучаться теми методами, которые обеспечат расчленение и корреляцию отложений в соответствии с требованиями масштаба съемки.

Вопросы к главе 10

1. Для чего нужна стратиграфическая основа?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Все многообразие классификационных категорий в стратиграфии может быть ограничено основными тремя: хроностратиграфическими, биостратиграфическими и литостратиграфическими. Сумма этих категорий, каждая из которых обладает набором собственных, свойственных только для нее, подразделений включает всю понятийную базу стратиграфии (табл. 10).

Хроностратиграфические подразделения — любые породы с изохронными границами, отвечающие определенному интервалу геологического времени (в планетарной шкале — система, отдел, ярус, зона; в региональной схеме — горизонт или регионарус, провинциальная зона). Горизонт — региональное хроностратиграфическое подразделение, объединяющее по латерали одновозрастные породы различного литологического и фациального состава.

Биостратиграфические подразделения — осадочные породы, стратифицированные на основе содержащихся в них остатков древних организмов и растений (в региональных схемах — автономные биозональные шкалы по сопутствующим группам ископаемых организмов и растений: биозоны по наутилоидеям, двустворкам, фораминиферам, фитозоны, палинозоны и т. д., слои с фауной или флорой, характерные комплексы фауны или флоры, содержащиеся в литостратиграфических подразделениях, палеонтологические маркирующие уровни и т. д.).

Литостратиграфические подразделения — ассоциации горных пород, представляющие собой историко-генетически общие геологические тела с ограничением в осадочной оболочке Земли за счет изменения физических свойств. Физические свойства пород, направленность их изменения, характер границ фиксируются различными методами и способами: литологическими, каротажными, сейсмическими, палеомагнитными, эвстатическими, циклическими, палеоклиматическими и многими другими. Породы с определенными физическими свойствами — это вещественные единицы стратиграфии, существующие вне времени и вне эволюции живой природы, хотя последняя и зависит от геологических событий на Земле.

Основным стратоном литостратиграфии является свита — геологическое тело определенного литологического состава с вертикальным и латеральным обособлением в пределах седиментационного бассейна или фациальной зоны. Эта вещественная единица региональной стратиграфии не зависит от возрастных датировок. Свита отвечает конкретному этапу геологической истории региона и отражает в строении и составе характерные его особенности. Все остальные подразделения либо состоят из свит (комплекс, серия), либо (подсвита, пачка, слой) являются ее составными частями.

Таблица 10

Унифицированная стратиграфическая схема

Главные подразделения стратиграфической схемы																					
Хроностратиграфические				Биостратиграфические		Литостратиграфические															
Планетарная стратиграфическая шкала				Региональная стратиграфическая схема						Местная стратиграфическая схема											
Система	Отдел	Ярус, подъярус	Хронозона, подзона	Горизонт (региоярус), подгоризонт	Лона (подзона)	Автономные зональные шкалы по различным группам ископаемых организмов и растений	Слои с фауной (флорой)	Характерные комплексы фауны, (флоры)	Палеонтологические маркирующие уровни	Маркирующие уровни и подразделения различной обоснованности			Комплекс	Серия	Свита	Подсвита	Пачка	Слой	Органогенный массив	и т. п.	
										Инверсионно-палеомагнитные	Сейсмические	Геохимические	Эвстатические циклиты	Секвенсы	и т. п.						

Изложенное выше позволяет заключить, что появившиеся в последние годы в стратиграфических работах такие термины, как сейсмостратиграфия, магнитостратиграфия, литмостратиграфия, хемотратиграфия и другие существующие и возможные стратиграфии лишь составные части или методы литостратиграфии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Бабадаглы В. А.* и др. Литологическая интерпретация геофизических материалов при поисках нефти и газа / М.: Недра, 1988. 256 с.
- Гейслер А. Н.* Синхроничные горизонты в циклических осадочных толщах // Литологический сборник. 1950. № 3. С. 7—13.
- Геологический словарь.* М.: Недра, 1973. Т. 1. 486 с.; Т. 2. 465 с.
- Глухова Л. В.* Общая стратиграфия: Учебное пособие. Красноярск, 1992. 78 с.
- Головкинский Н. А.* О пермской формации в центральной части Камско-Волжского бассейна // Материалы для познания геологии России. СПб., 1868. С. 273—415.
- Данбар К., Роджерс Дж.* Основы стратиграфии. М.: ИЛ, 1962. 363 с.
- Дарвин Ч.* Происхождение видов. М.: Сельхозгиз, 1952. 483 с.
- Дахнов В. Н.* Интерпретация результатов геофизических исследований разрезов скважин. М.: Недра, 1982. 418 с.
- Дополнения к Стратиграфическому кодексу России.* СПб.: ВСЕГЕИ, 2000. 112 с.
- Дьяконов Д. И., Леонтьев Е. И., Кузнецов Г. С.* Общий курс геофизических исследований скважин: Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. М.: Недра, 1984. 432 с.
- Егоян В. Л.* Стратотип и стратиграфическая граница // Изв. АН СССР. 1973. Сер. геология. № 2. С. 107—112.
- Жамойда А. И.* Стратотипы и лимитотипы подразделений международной стратиграфической шкалы по требованиям международного руководства по стратиграфии и стратиграфического кодекса России // Верхнепермские стратотипы Поволжья: Тез. докл. Междунар. симп. Казань. 1998. С. 50—51.
- Казаков А. М.* Хроно-, био- и литостратиграфические подразделения — основные категории унифицированной стратиграфической схемы // Актуальные вопросы геологии и географии Сибири: Мат-лы науч. конф. Томск: Том. гос. ун-т, 1998. Т. 1. С. 219—220.
- Карагодин Ю. Н.* Понятия и термины седиментационной цикличности. Новосибирск, 1978. 48 с. (Препринт / ИГ и Г СО АН СССР).
- Келлер Б. М.* Стратиграфические подразделения // Изв. АН СССР. 1950. Сер. геология. № 6. С. 3—25.
- Красилов В. А.* Зональная стратиграфия и принцип регионального параллелизма // Геология и геофизика. 1974. № 8. С. 11—18.
- Криштофович А. Н.* Задачи и методы изучения ископаемой флоры для целей стратиграфии // Мат-лы ВСЕГЕИ: Палеонтология и стратиграфия. Л., 1948. Сб. 5. С. 155—175.
- Круть И. В.* Исследование оснований теоретической геологии. М.: Наука, 1973. 201 с.

Леонов Г. П. Основы стратиграфии. М.: Изд-во МГУ, 1973. Т. 1. 530 с.; 1974. Т. 2. 486 с.

Ливанов Н. А. Пути эволюции животного мира. М.: ГИЗ; Советская наука, 1955. 399 с.

Логвиненко Н. В. Петрография осадочных пород. М.: Высш. школа, 1974. 400 с.

Малышев Н. А. Тектоника, эволюция и нефтегазоносность осадочных бассейнов европейского севера России. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 270 с.

Международный стратиграфический справочник / Под ред. Х. Хедберга. М.: Мир, 1978. 226 с.

Мейен С. В. Введение в теорию стратиграфии. М.: Наука, 1989. 214 с.

Палеомагнитология / А. Н. Храмов, Г. И. Гончаров, Р. А. Комиссарова и др. Л.: Недра, 1982. 312 с.

Попов А. В. Принципы стратиграфии: Учебное пособие. СПб., 1993. 67 с.

Практическая стратиграфия (Разработка стратиграфической базы крупномасштабных геологосъемочных работ). Л.: Недра, 1984. 320 с.

Равикович А. И. Развитие основных теоретических направлений в геологии XIX в. // Тр. ГИН АН СССР. 1969. Вып. 189. С. 5—246.

Садыков А. М. Идеи рациональной стратиграфии. Алма-Ата: Наука, 1974. 183 с.

Сейсмическая стратиграфия. Использование при поисках и разведке нефти и газа / Под ред. Ч. Пейтона: В 2 ч.: Пер. с англ. М.: Мир, 1982. 846 с.

Симаков К. В. Время в стратиграфии // Методологич. вопр. геол. наук. Киев.: Наукова думка, 1974. С. 81—106.

Симаков К. В. На пути к теоретической стратиграфии. Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 1997. 180 с.

Синицын В. М. Сиаль: Историко-геологические аспекты. Л.: Недра, 1972. 167 с.

Справочник по геохимии / Г. В. Войткевич и др. М.: Недра, 1990. 480 с.

Степанов Д. Л. Методика стратиграфических исследований // Спутник полевого геолога-нефтяника. Л.: Гостоптехиздат, 1954. Т. 2. С. 3—27.

Степанов Д. Л. Принципы и методы биостратиграфических исследований / Труды ВНИГРИ. Вып. 113. Л., 1958. 180 с.

Степанов Д. Л. Об основных принципах стратиграфии // Изв. АН СССР. 1967. Сер. геология. № 10. С. 103—114.

Степанов Д. Л., Месежников М. С. Общая стратиграфия: Принципы и методы стратиграфических исследований. Л.: Недра, 1979. 423 с.

Стратиграфическая классификация, терминология и номенклатура. Л.: Недра, 1965. 70 с.

Стратиграфический кодекс СССР. Л.: ВСЕГЕИ, 1977. 80 с.

Стратиграфический кодекс. СПб.: МСК 1992. 120 с.

Страхов Н. М. Основы теории литогенеза. 2-е изд. М.: АН СССР, 1962. Т. 1. 212 с.; Т. 2. 574 с.

Тесленко Ю. В. Краткий справочник по стратиграфической терминологии (для осадочных образований фанерозоя). Киев: Наукова думка, 1982. 157 с.

Тесленко Ю. В. Основы стратиграфии осадочных образований. Киев: Наукова думка, 1976. 139 с.

Хаин В. Е., Короновский Н. В., Ясаманов Н. А. Историческая геология: Учебник. М.: Изд-во МГУ, 1997. 448 с.

Халфин Л. Л. Теоретические вопросы стратиграфии. Новосибирск: Наука, 1980. 200 с.

Шарма П. Геофизические методы в региональной геологии. М.: Мир, 1989. 487 с.

Шиндевольф О. Х. Стратиграфия и стратотип. М.: Мир, 1975. 136 с.

Шкала геологического времени / У. Б. Харленд, А. В. Кокс, П. Г. Ллевеллин и др. М.: Мир, 1985. 140 с.

Экостратиграфия. Теория и методы / В. А. Красилов, В. А. Зубаков, В. И. Шульдинер, В. И. Ремизовский. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1985. 148 с.

Яблоков В. С. Перерывы в морском осадконакоплении и палеореки (в рифее—палеозое Русской платформы) / Тр. ГИН АН СССР. Вып. 248. М.: Наука, 1973. 215 с.

Barell J. Rhythms and measurement of geologic time // Bull. Soc. Geol. Amer., 1917. Vol. 28. P. 745—467.

Posamentier H. W., Jervey M. T., Vail P. R. Eustatic controls on clastic deposition I — conceptual framework // Sea-level changes: an integrated approach. Tulsa, Oklahoma: Society of economic paleontologist and mineralogist, 1988. № 42. P. 109—124.

Renevier E. Chronographe geologique / Extrait du C. R. 6 ses. Congr. Geol. Intern. IV, sess., Zürich, 1894. P. 521—584, 695.

Schenk H. G. Guiding principles in stratigraphy // J. Geol. Soc. India, 1961. Vol. 2. P. 1—10.

Sloss L. L. Sequence in the cratonic interior of North America. Geol. Soc. of America Bulletin, 1960. V. 74. P. 93—114.

Smith W. Strata identified by organized fossils. W. Arding, London, 1819. 32 p.

Smith W. Stratigraphical system of organized fossils with reference to the specimens of the original geological collection in the British Museum. London, 1817.

Van Wagoner J. C., Mitchum R. M., Campion K. M., Rahmanian V. D.
Siliclastic sequence stratigraphy in well logs, cores and outcrops: concepts
for high-resolution correlation of time and facies. Tulsa, Oklahoma: AAPG
Methods in exploration Series, 1990. № 7. 55 p.

Wells J. W. Coral growth and geochronometry // *Nature*, 1963. Vol. 197.
№ 4871. P. 75—86.

Сергей Валерианович Лыков

ОСНОВЫ СТРАТИГРАФИИ

Учебное пособие

Редактор
Л. Н. Руденко

Корректор
О. В. Пинаевская

Компьютерная верстка
А. Ю. Перетягин

Подписано в печать 1.07.04. Печать офсетная.
Гарнитура Arial. Бумага офсетная. Формат 60×84/16.
Усл. п. л. 13,7. Уч-изд. л. 13,0.
Заказ № 65. Тираж 330.
РИО СыктГУ. 167001, Сыктывкар, Октябрьский пр., 55.